Ueber das

Auftreten und die physiologische Bedeutung

des

Myrosins in der Pflanze.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FACULTÄT

DER

KÖNIGL. BAYR. FRIEDRICH-ALEXANDER-UNIVERSITÄT

ZU ERLANGEN

VORGELEGT

VON

WILHELM SPATZIER

AUS BRAUNSCHWEIG.

MIT 1 TAFEL.

BERLIN 1893.

GEBRÜDER BORNTRAEGER

(ED. EGGERS).

Ueber das

Auftreten und die physiologische Bedeutung

des

Myrosins in der Pflanze.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FACULTÄT

DER

KÖNIGL. BAYR. FRIEDRICH-ALEXANDER-UNIVERSITÄT

ZU ERLANGEN

VORGELEGT

VON

WILHELM SPATZIER

AUS BRAUNSCHWEIG.

MIT 1 TAFEL.

BERLIN 1893.

GEBRÜDER BORNTRAEGER

(ED. EGGERS).

(Separat-Abdruck aus Pringsheim's Jahrbüchern für wissenschaftliche Botanik Band XXV, Heft 1.)

Dem Andenken seines Vaters

gewidmet

vom Verfasser.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41535711_0114

Geschichtliches.

Hinc eat, aut Raphanus postremo accumbat in orbe
Mensa magis sapida, si sit onusta dape.
In caput et dentes, lumosoque igne in ocellos
Saevit et hinc stomachus nauseat assidue.

Baptista Fiera: Coena de herbarum virtutibus[1]).

Mit diesen Worten charakterisirt der bekannte mantuanische Arzt und Dichter des 15. Jahrhunderts die Eigenschaften und das Verhalten unseres gewöhnlichen Gartenrettigs. Aber was er sagt, gilt mehr oder weniger von allen Pflanzen der Cruciferen-Familie. Ihnen allen wohnt in allen Theilen — Samen, Wurzel, Stengel, Blatt u. s. w. — eine eigenthümliche schwach rettig- bis stark senfartige Schärfe inne, und diese Thatsache hat schon frühzeitig die Aufmerksamkeit der Kulturvölker auf diese Pflanzen gelenkt, ihnen Verwendung als Genuss- und Heilmittel verschafft und dadurch gleichzeitig ihren Anbau bedingt[2]).

1) Coena Baptistae Fierae de herbarum virtutibus, et de medicae artis parte, quae in victus ratione consistit (sine loco et anno). In ähnlicher Weise, immer mit Hinweis auf die Schärfe, schildert Fiera noch folgende Cruciferen: Eruca, Armoracia, Rapa, Napus, Sinapis.

2) Columella giebt beispielsweise im 11. Buche „de re rustica“ ausführlich an, wie Rettig und Senf zu bauen ist.

So werden in den hippokratischen Schriften manche Cruciferen gegen die mannigfachsten Leiden empfohlen[1]).

Auch erwähnen attische Lustspieldichter den Senf als wohlbekannte Substanz, die zwar zu Thränen und Gesichtsverzerrungen reizt, aber trefflich sich eignet, eine abgestandene Kost zu stärken und zu beleben[2]).

Allen voran an Schärfe steht wohl Sinapis nigra, namentlich der Samen, und an ihm scheint Lefebre (1660) wahrscheinlich zuerst beobachtet zu haben, dass diese Schärfe auf der Anwesenheit eines flüchtigen Oeles, des Senföles, beruht[3]). Jedenfalls war dieser Stoff aber Boerhave (1773) bekannt[4]).

---

1) Vergl.: Dierbach, Die Arzneimittel des Hippokrates, Heidelberg 1824. „Der Kohl wird von den Hippokratikern im Allgemeinen für eine gesunde Nahrung angesehen, er habe eine gewisse Schärfe, mittelst welcher er auf den Stuhlgang wirke ... und die galligen Unreinlichkeiten ausführe u. s. w.“ Als ähnlich wirkend wird auch der Rettig und die Kohlrübe angesehen. Ausserdem wird die Schärfe des Rettigs, namentlich die der Blätter, bei gichtischen Krankheiten empfohlen, auch gegen Lungenschwindsucht und gegen das Ausfallen der Haare soll Rettig wirksam sein (S. 35—37).

Der Waid, Isatis tinctoria, wurde mit Leinsamen zu Kataplasmen verwendet, die frischen Blätter wurden auf entzündete Stellen gelegt. Die Kresse, Lepidium sativum, fand gegen eine erkleckliche Anzahl der heterogensten Leiden Verwendung. Weniger häufig wird Lepidium latifolium erwähnt, wogegen Sinapis nigra und alba und in gleicher Weise Eruca in ausgiebigstem Maasse verwendet werden. Noch führt Dierbach einige Cruciferen als hippokratische Heilmittel auf, deren Identität mit den uns jetzt bekannten Arten indessen nicht hinlänglich festgestellt ist. In allen Fällen aber ist es die eigenthümliche Schärfe, der die Cruciferen bei Hippokrates oder seinen Schülern ihre Verwendung verdanken (S. 123—128).

2) Vergl.: Victor Hehn, Kulturpflanzen und Hausthiere, 3. Aufl., Berlin 1877, S. 185 und 186.

3) Vergl.: Roscoe und Schorlemmer, Lehrbuch der Chemie, III. Bd., 1. Thl., S. 974. Leider geben die Autoren nicht an, auf welche Stelle diese Vermuthung sich stützt.

4) Da der ausgezeichnete Boerhave, soviel ich finde, der Erste ist, der wissenschaftlich über das Phänomen der Senfölbildung nachgedacht hat, so mag hier eine wörtliche Wiedergabe seiner interessanten Beobachtungen und Deutungen folgen: „Sane mirabar olim, bono successu praescribi Oleum pressum seminum Sinapi contra acerrimos a calculo dolores. Mirari desii, quando oleum illud exploratum adeo dulce et mite se daret, quod in destillatione eorundem seminum tam acre apparet, et igneum vere. Et sane ne jam quidem mirari hanc rem satis possum, utcunque toties consideraverim. Cur enim hoc in oleo presso non adest acer odor, acutus sapor, qui ita excellit in oleis stillatitiis? cur acrimonia Spiritus

Auch folgende Thatsachen waren von ihm richtig aufgefunden worden, ohne dass er sie indessen zu erklären vermochte: das aus den Samen von Sinapis nigra gepresste fette Oel enthält das scharfe Princip nicht, bei der Destillation der Samen mit Wasser findet es sich hingegen im Destillat; durch Erwärmen verliert sich die Schärfe.

Eine genauere Untersuchung des scharfen Stoffes konnte natürlich erst nach der Reformation der Chemie durch Lavoisier geschehen. L. Thibierge[1]) giebt (1819) ausführlich an, wie man das flüchtige Senföl (l'huile volatile) aus einer wässerigen Emulsion des Mehles von Sinapis nigra durch Destillation gewinnen kann. Er entdeckte ferner, dass das Senföl schwefelhaltig ist, lässt aber die Frage offen, ob dieser Schwefel im Oel einfach gelöst oder an das-

---

Rectoris, qui hospitatur in oleo, hic se non manifestat? sive aquam spectes, sive salem ipsumque spiritum, et ejus oleum, forte non tam apposite, ut Tibi promiseras ipse, respondebis.

Utique parum valde salis in hoc oleo reperitur. Et tamen de plantae singulari ingenio habet multum ut sensus docent. Recens interim quamdiu habetur miscela sui acre involvit, mitificat, obtundit in humoribus; fibras membranas, vasa, viscera, affrictu sui laxat, flexilia reddit, emollit, duritiem, fragilitatem, tollit. Escharas mortuas, aridas humectat, lenit reddit separabiles a vivis per actiones vitales. Defendit in vulneribus nudatas partes, ne aër siccus illis noceat arefaciendo. Prohibet quoque tenues humores, ne per oscula aperta discisorum in vulnere vasculorum nimis exhalent, sicque extrema vascula corrumpant. Hinc est optimum ad recentia vivaque, vulnera auxilium, quo consolidentur brevi. Quin etiam Anodynum habetur summum, acria demulcendo, laxando stricta.

Sed quam notabilis est in oleis hisce proprietas! qua tam cito, calore tantum septuaginta graduum, tantum a pristino degenerascunt ingenio, absque ulla omnino alieni admistione. Enim vero de crasso tenuis fit. De blando acre. De dulci amarescens. De insipido fere rancidum. De albo flavescens. De anodyno erodens. De laxante inflammans. Omnes quidem hae mutationes satis cito ita contingunt: paucis nempe diebus aestivo calore. At quantae mutationes! u. s. w.“ Elementa Chemiae, quae anniversario labore docuit, in publicis privatisque scholis, Hermannus Boerhave. Tomus secundus. Lugduni Batavorum. 1732. Pars I. Processus XX.

Boerhave hat, wie aus diesen Zeilen ersichtlich, eine Anzahl von Thatsachen richtig aufgefunden. Freilich stösst man auch auf manche längst als irrig erkannte physiologische Anschauung, beispielsweise ist die Annahme einer aromatica vis oder eines Spiritus Rector, eines flüchtigen Geistes, der herüberströmen soll auf die Riechnerven, unzulässig.

1) L. Thibierge, De la graine de moutarde noire, Journal de Pharmacie, Tome V, 1819, p. 439 ff.

selbe chemisch gebunden ist. Fast gleichzeitig zeigt A. Todd. Thomson[1]), welcher ein im Wesentlichen gleiches Verfahren wie Thibierge zur Gewinnung des Senföles angiebt, dass das im kochenden Wasser macerirte Senfmehl kein Senföl liefert, was übrigens Boerhave ebenfalls schon bekannt gewesen zu sein scheint.

In dem Senföl hatte der Chemiker einen äusserst interessanten Körper aufgefunden und die Zahl der Untersuchungen und Abhandlungen über dasselbe ist gross. Aber man findet in ihnen allen auffallend wenig physiologisch beachtenswerthe Angaben, die rein chemischen auf Ermittelung der Constitution und Synthese gerichteten Untersuchungen treten natürlich überall in den Vordergrund. Das Wichtigste daraus, besonders das, was für die Pflanzen-Physiologie von Interesse ist, habe ich in Folgendem zusammengestellt.

Boutron und Robiquet[2]) geben (1831) an, dass das wirksame Princip des schwarzen Senfsamens verschieden ist von dem des weissen, dass aber beide im Samen nicht präexistiren und sich nur bei Zutritt von Wasser bilden.

Th. Fauré[3]) (1831) hält ebenfalls das ätherische Senföl für nicht präexistent. Wasser ist zu seiner Bildung unumgänglich nöthig. Er vermuthet die Anwesenheit einer Substanz, welche an der Bildung des Senföles betheiligt ist und unter deren Einfluss die Bildung ausschliesslich von Statten geht. Später[4]) gab er an, dass diese Substanz Pflanzen-Albumin sei. Durch Erhitzen auf 70° und darüber gerinne dasselbe, ebenso wie durch Alkohol, conc. Säuren u. s. w.; dann tritt aber auch keine Bildung von ätherischem Senföl mehr ein.

Fundamental für die Erklärung des Chemismus, der sich bei der Bildung des Senföles aus dem macerirten Samen abspielt, und bis heute allgemein anerkannt ist die Untersuchung von Bussy[5]) (1840). Zwei Stoffe sind nach ihm im schwarzen Senfsamen enthalten und diese liefern zusammengebracht mit Wasser das ätherische

---

1) Journal de Pharmacie, T. V, 1819, S. 448 (Note des rédacteurs).

2) Boutron und Robiquet: Sur la semence de moutarde. Journal de Pharmacie, T. 17, 1831, p. 279 ff.

3) Fauré: Sur les semences de moutarde noire. Ebenda S. 299.

4) Ebenda, T. 21, 1835, S. 464 ff.

5) Bussy, Sur la formation de l'huile essentielle de moutarde. Journal de Pharmacie 1840, T. 27, S. 39 ff. Deutsche Uebersetzung: Annalen der Chemie u. Pharm. Bd. 34, S. 223 ff.

Senföl. Der eine ist eine eigenthümliche Säure, die an Kali gebunden vorkommt, die Myronsäure, der andere ist ein eiweissähnlicher Körper, das Myrosin, wahrscheinlich derselbe, den schon Fauré als Pflanzen-Albumin ansprach. Für beide Stoffe giebt Bussy Methoden an, sie aus dem Samen darzustellen. Das Myrosin hat die meiste Analogie mit dem Emulsin, dem Ferment der bittern Mandeln, ohne dass hingegen beide sich in ihren Wirkungen vertreten können. Nur allein das Myrosin ist im Stande, das myronsaure Kali bei Anwesenheit von Wasser in der Weise zu zerlegen, dass sich Senföl bildet; man bemerkt dies, wenn man zwei klare, geruchlose Auflösungen dieser Substanzen mischt. Jedoch nicht augenblicklich wie das Präcipitat der Salzauflösungen tritt der Geruch hervor, sondern er entwickelt sich erst nach 5—6 Minuten, erst schwach, dann stärker und in seiner ganzen Intensität erst nach geraumer Zeit, je nach der Quantität der angewandten Substanz.

Zwar widersprachen den bestimmten Angaben Bussy's noch die Versuche einiger Chemiker, welche sich vergeblich bemühten, nach dem Verfahren von Bussy das myronsaure Kali darzustellen[1]), aber Ludwig und Lange[2]) bestätigten zweifellos die Existenz dieses Glycosides, stellten auch die erste, freilich ungenaue empirische Formel für dasselbe auf, welche später von Will und Körner[3]) zu der noch heute angenommenen Form berichtigt wurde.

Mit der Feststellung dieser Thatsachen war ein tüchtiger Schritt vorwärts geschehen in der Erkenntniss der Bildung des Senföles: unter dem Einflusse des fermentartig wirkenden Myrosins wird eine wässerige Lösung von myronsaurem Kali zerlegt unter Bildung von ätherischem Senföl, Zucker und Kaliumbisulfat.

Die physiologisch wichtigste Frage aber, warum diese beiden Stoffe in der wasserreichen Pflanze nicht aufeinander wirken, oder auf welche Art und Weise beide Stoffe auseinander gehalten werden, blieb einstweilen unbeantwortet.

---

1) Simon in Pogg. Ann. Bd. 51, S. 383; Lepage in Journ. chim. méd. XX, S. 171; Thielau in Wittstein's Vierteljahresschrift für pract. Pharm. Bd. 7, S. 161.

2) Zeitschrift für Pharmacie Bd. III, S. 430, 577.

3) Will und Körner, Zur Kenntniss der Bildung des Senföles u. s. w., Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. 125, S. 257.

In der Folge machte sich das eifrige Bestreben geltend, dieselben oder ähnliche Stoffe nachzuweisen in Pflanzen, die zerrieben ähnliche Stoffe exhaliren. So untersuchte Hubatka[1]) eingehend das Meerrettigöl. Er ist der Ansicht, dass das Oel hier Immediatbestandtheil der Pflanze ist, da der Geruch beim Zerreiben oder Zerschneiden augenblicklich entsteht. Die mit Wasser destillirten Meerrettigrhizome geben ein ätherisches Oel, von welchem Hubatka nachweist, dass es mit dem ätherischen Senföl identisch ist.

Simon[2]) unterwirft die vorzügliche Arbeit Bussy's einer Nachprüfung, ohne indessen wesentlich neue Daten zu bringen. Er beobachtet die eminente Aehnlichkeit des Oeles von Cochlearia officinalis mit dem Senföl, musste aber wegen der Differenz der Siedepunkte, beiläufig 8—10°, die Annahme einer völligen Identität aufgeben. Th. Werthheim[3]) untersuchte das flüchtige Oel von Alliaria officinalis. Im ersten Frühjahr, bevor die Blattvegetation noch stärker entwickelt ist, erinnert die Wurzel dieser Pflanze durch Geruch und Geschmack sehr deutlich an die Wurzel des Meerrettigs. Später macht sich mehr und mehr der Geruch nach Knoblauchöl geltend. Werthheim weist nun chemisch nach, dass das ätherische Oel der Wurzel in der That Senföl sei, während ihm der Nachweis des Knoblauchöles in den wurzelfreien Theilen nicht streng gelang.

A. W. Hofmann[4]) fand, dass das ätherische Rohöl von Cochlearia officinalis in seiner Hauptsache aus secundärem Butylsenföl besteht. Angeregt durch Geruch und Geschmack von Tropaeolum majus, unterwarf er auch das aus Kraut und Samen dieser Pflanze gewonnene flüchtige Oel einer chemischen Prüfung. Die Hauptfraction war schwefelfrei; die Analyse ergab, dass sie das Nitril der Alphatoluylsäure ist. Ebenso fand er im ätherischen Oel von Nasturtium officinale kein Senföl, sondern das Nitril der Phenylpropionsäure. Im Tropaeolumöl und im Nasturtiumöl sind also nach Hofmann keine aromatischen Senföle, sondern statt dessen aromatische Nitrile auffindbar. Bei der engen Beziehung zwischen

1) Carl Hubatka, Ueber die Zusammensetzung des Meerrettigöles, Ann. d. Chemie u. Pharm., Bd. 47, S. 157 ff.

2) Simon, Ueber das ätherische Senföl des schwarzen Senfs, Pogg. Ann. der Physik und Chemie, 20. Bd., 1840, S. 377 ff.

3) Ann. d. Chem. u. Pharm., Bd. 52, S. 52 ff.

4) Ber. d. d. chem. Ges. 1874, S. 509 ff.

beiden Körpergruppen drängte sich ihm auch die Frage auf, ob nicht doch etwa ursprünglich Senföle in den Pflanzen enthalten gewesen seien, welche erst während der Darstellung durch Entschwefelung in Nitrile übergegangen wären. Hofmann glaubt indessen diese Frage verneinen zu müssen, da die Umsetzung nur während der Destillationszeit hätte vor sich gehen können, während welcher die Senföle mit dem Metall der Destillationsgefässe in Berührung waren, die Umsetzung von Senfölen in Nitrile aber allgemein immer sehr langsam und unvollkommen vor sich gehe.

F. Pless[1]) sucht eine Pflanze, welche sowohl die Schwefel- und Schwefelcyanverbindung des Allyls zugleich enthält und prüft daraufhin die flüchtigen Oele einer Anzahl von Cruciferen. Kraut und Same von Thlaspi arvense, zerstossen und mit Wasser kalt gemischt, geben ein Oel bei der späteren Destillation, das sich bei chemischer Untersuchung als ein Gemisch von Knoblauchöl und Senföl erweist. Beide Körper sind aber im Samen ebensowenig fertig gebildet, wie das Senföl im Samen von Sinapis nigra. Desgleichen hört die Fähigkeit sich zu bilden auf, wenn man den Samen auf 100° erhitzt oder mit Alkohol behandelt. Der weingeistige Auszug des Samenmehles hinterlässt beim Verdampfen eine krystallinische Masse, welche mit dem Samen von Sinapis alba und mit Wasser zusammengerieben Senföl, aber kein Knoblauchöl erzeugt. Im Oel von Alliaria officinalis fand Pless 0,9 Theile Senföl und 0,1 Theil Knoblauchöl, während im Oel von Thlaspi arvense nur 0,1 Theil Senföl sich vorfand. Senföl ohne Knoblauchöl konnte Pless gewinnen aus Samen und Kraut von Iberis amara, und in sehr geringer Menge auch aus Samen von Capsella bursa pastoris, Raphanus, Raphanistrum und Sisymbrium officinale. Lepidium ruderale liefert bei der Destillation mit Wasser ein schwefelhaltiges, senfölartiges, in conc. Schwefelsäure sich mit rother Farbe lösendes, flüchtiges Oel, welches ebenfalls in der lebenden Pflanze nicht vorgebildet ist. Ein ebensolches Oel liefern Lepidium campestre und Lepidium sativum. Raphanus sativus, die Samen von Brassica Napus, Cochlearia, Draba, Cheiranthus annuus liefern ein Oel, das sich einigermassen vom Senföl unterscheidet, aber nicht näher untersucht wird.

Bis jetzt sahen wir Senföl zwar aus manchen Pflanzen sich

1) Annalen d. Chem. u. Pharm. Bd. 58, S. 36, 1846.

bilden, aber diese gehörten alle der Cruciferen-Familie an. Um so interessanter musste die Auffindung einer nicht zu dieser Familie gehörigen Pflanze sein, die ebenfalls Senföl liefert. Hirschberg fand, dass die frischen Wurzeln von Reseda odorata und Reseda luteola beim Zerschneiden einen deutlichen Meerrettiggeruch zeigen; eine daraufhin von Vollrath[1]) unternommene Untersuchung des aus den mit Wasser macerirten Wurzeln durch Destillation gewonnenen flüchtigen Oeles bewies, dass dies Oel in der That Schwefelcyanallyd (äther. Senföl) sei.

Alle bis jetzt angeführten Untersuchungen haben das gemeinsam, dass sie sich gar nicht oder nur ganz nebenbei mit der lebenden Pflanze beschäftigen: durch Maceriren der Pflanze mit Wasser, durch Destilliren, Erhitzen, Ausfällen mit Alkohol, kurz durch die zahllosen, rein chemischen Operationen gelang es, einen eiweissartigen Körper, das Myrosin, und glycosidartige Verbindungen aus den todten Pflanzenkörpern darzustellen und zu zeigen, dass diese Körper, mit Wasser zusammengebracht, Zersetzungsproducte liefern, die gleich oder ähnlich sind denen, die man unter geeigneten Bedingungen auch aus den getödteten Pflanzen direct erhalten kann. So interessant und nutzbringend es nun auch an sich ist, den zahllosen Wandlungen zu folgen, die der Chemiker mit diesen Stoffen vornimmt, für den Pflanzenphysiologen ist das alles doch nur von secundärer Bedeutung; er bedarf ganz anderer Forschungsmethoden. — In erster Linie fesseln nur die Stoffe seine Aufmerksamkeit, die er im lebenden Organismus direct auffinden kann; die eine Seite physiologisch-chemischer Forschung ist demnach, festzustellen, welche Stoffe Immediatbestandtheile der lebenden Pflanze und inquilin in ihr enthalten sind. Dieser Untersuchung thürmen sich aber meist grosse Schwierigkeiten entgegen, die ihren Grund darin finden, dass jeder, auch der geringste Eingriff in das Leben der Pflanze oft auch sofort von einer stofflichen Veränderung begleitet ist, es mithin dann schon zur Unmöglichkeit geworden ist, die Präexistenz eines Stoffes in der normalen Pflanze mit absoluter Sicherheit darzuthun. Nur selten gelingt es, den Stoff direct zu beobachten, meist muss eine geschickte Combination chemischer und physikalischer Eingriffe zum Ziele führen und die Antwort gleichsam

1) Arch. d. Pharm., II. R., B. 148, S. 156 f., 1871.

erzwingen. Von diesen Gesichtspunkten aus bedarf übrigens ganz allgemein das grosse Heer der unter dem Sammelnamen „Pflanzenstoffe" zusammengefassten Zersetzungsproducte, die man aus Pflanzenleichen darzustellen gelernt hat, einer gründlichen Revision.

Die zweite Seite physiologisch-chemischer Forschung hat die erste zur Voraussetzung und ist daher noch schwieriger zu betreten. Sie sucht zu ermitteln, wie die im lebenden Organismus oder im leblosen, aber doch lebensfähigen Samen mit Sicherheit aufgefundenen Immediatbestandtheile im lebenden Organismus aufeinander einwirken. Denn schon bricht sich mehr und mehr die Anschauung Bahn, dass der Verlauf chemischer Processe ganz anders sich gestaltet im engen Raum der Zelle, oder gar in den engsten Poren und Kanälen der lebenden Substanz des Protoplasma, dem complicirtesten aller Stoffgemenge, als im Kolben des Chemikers.

Myrosin und Glycoside hatte man gelernt aus dem Senfsamen darzustellen und ihre Einwirkung aufeinander ausserhalb der Pflanze erforscht; es wäre nun die Aufgabe des Pflanzenphysiologen gewesen, auszumitteln, ob diese Stoffe Immediatbestandtheile der Cruciferen sind oder nicht und ob sich die Zersetzung in derselben Weise innerhalb wie ausserhalb der Pflanze vollzieht. Aber solche Untersuchungen gelangten nicht zur Ausführung, obwohl schon im Jahre 1865 Thomé[1]) einen Anstoss dazu gegeben hatte. Er sprach nämlich auf Grund einiger mikrochemischer Reactionen und unzweideutiger Versuche die Behauptung aus, dass das dem Myrosin in mancher Beziehung so überaus ähnliche Ferment der bittern Mandeln, das Emulsin, ausschliesslich auf die wenig differenzirten Gefässbündelanlagen im Samen localisirt sei. Diese Untersuchung blieb jedoch vereinzelt und regte nicht zu einer Prüfung des Senfsamens auf Myrosin an. Und noch im Jahre 1881 schrieb Pfeffer[2]):

„Wie es kommt, dass z. B. in Mandeln oder Senfsamen die Fermente Emulsin resp. Myrosin, ohne Wirkung auf Amygdalin resp. myronsaures Kali bleiben, ist noch nicht aufgeklärt. Thomé's Annahme, das Amygdalin sei in den parenchymatischen Zellen der Samenlappen, das Emulsin in Gefässbündelelementen enthalten, dürfte wohl nicht zutreffen. Wenn eine räumliche Trennung massgebend

1) Botan. Zeitung 1865, 23. Jahrg., S. 240.

2) Pfeffer, Pflanzenphysiologie Bd. I, S. 307, Lpz. 1881.

ist, möchte vielleicht das Amygdalin im Zellsaft, das Emulsin im Protoplasma zu suchen sein." Später ist jedoch durch Johannsen[1]) die Thomé'sche Ansicht in allen Punkten bestätigt worden. Nach der Pfeffer'schen Ansicht musste das Myrosin im Plasma, das Kaliummyronat, überhaupt das Glycosid bei den Cruciferen, im Zellsaft anzunehmen sein.

Einer Entdeckung, anatomisch-histologischer Art, müssen wir aber hier gedenken, die zunächst auf Grund einer irrigen Deutung mit unserm Gegenstand nichts zu thun zu haben scheint. Gelegentlich einer Untersuchung des Blattes der Crucifere Moricandia arvensis fand Heinricher[2]) in das subepidermale, chlorophyllführende Parenchym chlorophyllfreie Zellen eingestreut. Der Inhalt dieser Idioblasten war wasserhell, er gerann beim Kochen des Schnitts oder auf Zusatz von Alkohol, färbte sich mit Millon's Reagens intensiv roth und zeigte auch sonst eine auffallende Uebereinstimmung mit Pflanzeneiweiss, obgleich auch einige charakterische mikrochemische Eiweissreactionen Heinricher nicht oder nur unvollkommen gelangen. Heinricher bezeichnete diese Zellen seiner Auffassung gemäss als „Eiweissschläuche". In einer gründlichen anatomischen Untersuchung[3]) der Cruciferen auf diese histologischen Elemente hin, fand er, dass die Eiweissschläuche fast ausnahmslos allen Cruciferen zukommen, somit ein dieser Pflanzenfamilie eigenthümliches histologisches Element bilden. Phylogenetisch brachte Heinricher die Eiweissschläuche mit den Milchröhren der Papaveraceen in Verbindung. Aber die Idioblasten als Eiweissdepots oder gar als die Hauptproductionsräume für Eiweiss anzusehen, ist, wie schon gesagt, nicht zutreffend.

Guignard[4]) blieb es vorbehalten, den wahren Werth dieser Zellen festzustellen. Er zeigte, dass die Idioblasten kein Eiweiss, sondern das albuminoide Myrosin enthalten. Die Zellen sind demnach als Myrosinschläuche zu bezeichnen. Diese Behauptung basirt auf folgenden Beobachtungen: Die Lage der Idioblasten ist nicht bei

---

1) Johannsen, Ann. d. sc. nat., sér. VII, T. VI, 1887, p. 126.

2) Ber. d. d. bot. Ges., Jahrg. 1884, Bd. II, Heft 10. (Vorl. Mitth.)

3) Heinricher, Die Eiweissschläuche der Cruciferen und verwandte Elemente der Rhoeadineen-Reihe, Mitth. d. bot. Inst. z. Graz, I. Bd.

2) Guignard, Sur la localisation des principes qui fournissent les essences sulfurées des Crucifères, Comptes rendus de l'Acad. d. Sc., T. 111, p. 249 u. 920.

allen Cruciferen eine regellos im Parenchym zerstreute; bei vielen treten sie im Parenchym überhaupt nicht auf, sondern sind ausschliesslich an den Verlauf der Gefässbündel gehalten. Isolirt man daher aus einem Blatt- oder Stengelstück einer solchen Pflanze sämmtliche Gefässbündel und mit diesen gleichzeitig die Idioblasten, so ist der Rest des Gewebes idioblastenfrei. Eine solche Pflanze, bei der ausschliesslich die Gefässbündel von Idioblasten umgeben sind und welche obendrein das Glycosid, Kaliummyronat, nicht enthält, also auch kein Senföl bilden kann, ist Cheiranthus Cheiri. Aus dieser Pflanze isolirte Guignard die Gefässbündel und bestreute diese und den Rest des Gewebes mit myronsaurem Kali: nur die Gefässbündelparthie entwickelte Senföl, nicht aber die idioblastenfreien Gewebe. — Nur sehr wenigen Cruciferen fehlen die Myrosinschläuche gänzlich, z. B. Capsella bursa pastoris; diese entwickeln mit Kaliummyronat zerrieben kein Senföl. — Die wichtigsten Resultate der beiden etwas aphoristischen Mittheilungen Guignard's sind etwa folgende:

1. Die von Heinricher im Samen und im Kraut der Cruciferen aufgefundenen Idioblasten enthalten ausschliesslich das Myrosin und sind als Myrosinschläuche zu bezeichnen.

2. Die Lage der Myrosinschläuche im Samen entspricht stets der Lage in den vegetativen Organen; treten sie als Gefässbündelelemente im Stengel, Blatt oder in der Wurzel auf, so sind sie auch stets als Begleiter der Procambiumstränge im Samen anzutreffen; liegen sie zerstreut im Parenchym der vegetativen Organe, so liegen sie auch zerstreut im Parenchym der Kotyledonen und der Radicula des Samens.

3. In der grossen Mehrzahl der Fälle findet man Glycosid und Ferment im Embryo. Doch kommen Ausnahmen vor: bei Lunaria und Matthiola steckt das Ferment in der Samenschale, das Glycosid im Embryo; das Tegument von Sinapis alba enthält geringe Spuren von Ferment und Glycosid.

4. Der Gehalt an Ferment und Glycosid ist je nach Species verschieden.

5. Fast ausnahmslos alle Cruciferen enthalten Myrosin und zwar stets mehr [1]), als zur vollständigen Spaltung des in der Pflanze gleichzeitig enthaltenen Glycosids erforderlich ist.

1) Es hat daher keinen Sinn, bei der Bereitung des Senföls aus dem Samen von Sinapis nigra einen Zusatz von Sinapis alba zu geben, welcher frei von Kalium-

Auf Veranlassung von Herrn Professor Dr. Frank habe ich mich längere Zeit mit einer physiologischen Untersuchung der Myrosinschläuche in Samen und Kraut der Cruciferen beschäftigt, auch habe ich die Existenz des bis jetzt ausschliesslich für die Cruciferen nachgewiesenen Fermentes in einigen andern Familien dargethan. Vorkommen, Art und Wirkung der Glycoside habe ich nur insoweit berücksichtigt, als es für den Nachweis des Myrosins erforderlich war. Um allzu häufige Wiederholungen im folgenden Theile dieser Arbeit zu umgehen, fasse ich zum Schluss dieser historischen Uebersicht kurz all' unsere gegenwärtige Kenntniss vom Myrosin zusammen.

Das Myrosin ist ein eiweissartiger Körper, der bislang nur im Samen und Kraut fast aller Cruciferen in besonderen Zellen, den Myrosinschläuchen, aufgespeichert gefunden wurde. Eine Reindarstellung des Myrosins ist bis jetzt nicht gelungen, noch weniger ist seine Constitution bekannt. Sicher ist, dass es stickstoffhaltig ist. Durch Extrahiren des Samenmehles von Sinapis alba mit Wasser erhält man eine Lösung, die reich ist an Myrosin, aber auch andere Stoffe enthält. Durch mehrmaliges Ausfällen mit Alkohol und Wiederauflösen mit Wasser kann man die fremden Bestandtheile einigermassen eliminiren. Heisses Wasser, Alkohol, Säuren u. s. w. fällen Myrosin und machen es unwirksam gegen Glycoside; mehrtägige Einwirkung kalten Wassers löst es auf und macht die Lösung wirksam. Kälte zerstört die Wirksamkeit des Myrosins nicht[1]). Mit dem ihm nahe verwandten Emulsin, dem Ferment der bittern Mandeln, wird es zu den glycosidspaltenden Fermenten gezählt. Nur

---

myronat, aber reich an Myrosin ist. Schon Cassebaum giebt an (Pharmaceutisches Centralblatt, 1849, 20. Jahrg., S. 110—111 und Arch. d. Pharm., 2. R., Bd. 54, S. 301), dass man keine reichlichere Ausbeute an Senföl erhalte, wenn man zu dem schwarzen Senf einen Zusatz von weissem mache: ein Gemisch von 1 Theil schwarzem Senf mit $^1/_{10}$—$^1/_{20}$ weissem Senf giebt nur eine, der Quantität des angewandten schwarzen Senfs entsprechende Menge des ätherischen Oeles.

1) Vergl.: Ernst Schmidt, Zur Kenntniss der Bildung des Allylsenföles, Ber. d. d. chem. Ges., 10. Jahrg., 1877, S. 187 u. 188. Schmidt prüft die Einwirkung des Myrosins auf Kaliummyronat bei einer Temperatur von 0°, also beide in Schneewasser gelöst. Es vollzieht sich auch hier die Zerlegung der Myronsäure unter Bildung von Allylsenföl, wie an dem intensiven Geruch zu erkennen ist. Gleichzeitig bilden sich aber auch kleine Mengen des isomeren Rhodanallyls, wie durch die Eisenchloridreaction nachgewiesen wird.

zwei Glycoside sind indessen bis jetzt sicher bekannt, die das Myrosin zu spalten vermag: myronsaures Kali im schwarzen Senf und einigen anderen Pflanzen und Sinalbin im weissen Senf. Die Zersetzung soll nach folgenden Formeln vor sich gehen:

1) $C_{10}H_{18}NS_2O_{10}Ka = C_6H_{12}O_6 + KaHSO_4 + C_4H_5NS$
myronsaures Kali — Allylsenföl

2) $C_{30}H_{44}N_2S_2O_{16} = C_6H_{12}O_6 + C_8H_7ONS + C_{16}H_{24}NO_5SO_4H$
Sinalbin — Sinalbinsenföl + saures schwefels. Sinapin

Die Zersetzung erfolgt hiernach ohne directe Mitwirkung von Wasser, was sonst bei Fermentwirkungen Regel ist. Diesen Processen analog werden wahrscheinlich alle die verlaufen, welche zur Bildung zum Theil unbekannter ätherischer Cruciferenöle aus unbekannten Glycosiden führen. Nicht streng im Sinne eines Fermentes wirkt Myrosin insofern, als zwar sehr grosse, aber doch nicht unbegrenzte Quantitäten Glycosid von ihm gespalten werden können. Nebenbei bemerkt, kann das Emulsin der bittern Mandeln 40mal so viel Glycosid spalten, als in den Mandeln enthalten ist. Für das Myrosin liegt eine analoge Angabe nicht vor.

I. Die Methode zum Nachweis des Myrosins.

Wie schon im historischen Theile dieser Arbeit angeführt wurde, kommt dem Enzym Myrosin die Fähigkeit zu, das Glycosid Kaliummyronat in ätherisches Senföl (Allylthiocarbimid), Traubenzucker und Kaliumbisulfat zu spalten. Da nun das ätherische Senföl sehr leicht und unverkennbar durch Geruch und Geschmack wahrnehmbar ist, so kann man das Glycosid zum qualitativen Nachweis des Myrosins als Reagens gut verwenden. Gesetzt, es solle geprüft werden, ob ein bestimmtes Organ einer bestimmten Pflanze — nur um solche handelt es sich hier — myrosinhaltig sei oder nicht. Ich schlage dann folgenden, stets zum Ziele führenden Weg ein: Die betreffenden Pflanzentheile werden sehr fein zerkleinert und mit Wasser angerührt; die Emulsion wird bei mässiger Temperatur — etwa 30° — in geschlossenem Gefäss sich selbst überlassen. Nach einiger Zeit — etwa 2—3 Stunden — wird der Geruch derselben

geprüft. Sollte sie geruchlos sein oder jedenfalls nicht den charakteristischen Geruch nach Senföl zeigen, so werden einige Körnchen myronsaures Kali hinzugefügt, welche sich darin auflösen. Nach einiger Zeit wird wiederum geprüft, ob sich Senföl entwickelt hat oder nicht. In ersterem Falle hat sich das Glycosid zersetzt und da bis jetzt kein anderes Ferment, überhaupt kein anderer hier in Frage kommender Körper bekannt ist, der Kaliummyronat in Senföl u. s. w. spaltet, so ist hiermit die Anwesenheit des Myrosins in der Pflanze bewiesen. Bleibt hingegen die Emulsion auch jetzt noch geruchlos, so ist natürlich kein Myrosin darin enthalten.

Macht sich aber schon vor Hinzufügung des myronsauren Kali zu der Emulsion der Geruch nach Senföl bemerkbar, so sind folgende zwei Fälle möglich: Erstens, das Senföl ist als solches präexistent in der Pflanze und auf andere Weise als durch Spaltung von myronsaurem Kali — etwa durch die Lebensthätigkeit des Protoplasma entstanden, oder nach den untersuchten Organen aus anderen Organen hingeschafft; dann kann das Myrosin fehlen. Zweitens kann die Pflanze beide Componenten, Myrosin und myronsaures Kali, enthalten, und aus ihnen bildet sich bei oben angegebener Behandlung das Senföl, welches also nicht präexistent in der Pflanze enthalten ist. Jedenfalls aber geräth man in Zweifel, wenn die mit Wasser macerirten Pflanzentheile Senföl exhaliren, ob nun in denselben Myrosin enthalten ist oder nicht. Ich verfahre dann folgendermassen: Die an sich senfölartig riechende Emulsion wird in offenem Gefäss bei gelinder Wärme so lange digerirt, bis keine Spur von Senföl mehr wahrnehmbar ist. Alsdann wird Kaliummyronat hinzugefügt, das Gefäss verschlossen und nach einiger Zeit geprüft, ob eine Zersetzung des Glycosids erfolgt ist oder nicht. Tritt der Geruch nach Senföl auf, so ist auf die Anwesenheit von Myrosin in der Pflanze zu schliessen, tritt er nicht auf, so fehlt das Myrosin. Häufig empfiehlt es sich nicht, zu der Emulsion das Glycosid hinzuzufügen, sondern jene erst zu filtriren und das Filtrat zur Prüfung zu verwenden. Namentlich ist dies anzurathen, wenn es sich um sehr schleimige Emulsionen, wie solche viele Samen von Cruciferen liefern, handelt; oder auch dann, wenn der Geruch nach Senföl nicht verschwinden will. Das Myrosin ist bekanntlich leicht löslich in Wasser und ist daher in diesem Falle anzunehmen, dass eine genügend grosse Menge ins Filtrat übergegangen ist.

Das ganze Verfahren wird kurz und übersichtlich in folgender Tabelle wiedergegeben.

Die zu untersuchende Pflanze wird mit Wasser zu einer Emulsion zerrieben. Der Geruch der Emulsion ist:

A. Nicht senfölartig.

Man fügt Kaliummyronat hinzu. Der Geruch wird

1. senfölartig,
2. nicht senfölartig,

} die Pflanze ist { myrosinhaltig, / nicht myrosinhaltig.

B. Senfölartig.

Man digerirt bei mässiger Temperatur bis zum totalen Verschwinden des Senföles und fügt dann erst Kaliummyronat hinzu. Der Geruch wird

1. senfölartig,
2. nicht senfölartig,

} die Pflanze ist { myrosinhaltig, / nicht myrosinhaltig.

Man könnte geneigt sein, diesem Verfahren den Vorwurf zu machen, dass es, da wesentlich der Geruch als Kriterium benutzt wird, der wünschenswerthen Schärfe ermangelt. Dieser Einwurf ist aber (wie ich mich überzeugte) nicht gerechtfertigt, wie folgende Proben beweisen:

Ich löste 0,053 g eines von mir aus dem Samen von Sinapis alba dargestellten, noch unreinen Myrosins in 250 cm^3 Wasser und fügte einige Körnchen Glycosid hinzu. Das Gefäss wurde, gut verschlossen, einige Stunden bei mässiger Temperatur stehen gelassen. Es hatten sich dann sehr deutlich wahrnehmbare Mengen von Senföl gebildet.

Ein Tropfen Senföl wurde in 10 cm^3 Alkohol gelöst, davon 1 cm^3 mit 500 cm^3 Wasser verdünnt. Man konnte hierin noch unverkennbar das Senföl durch den Geruch wahrnehmen.

Hiermit in Einklang steht auch die Thatsache, dass man deutlich die offenbar ganz minimalen Mengen Senföl wahrnehmen kann, welche ein einziges Samenkorn von Sinapis nigra zu entwickeln vermag. Es empfiehlt sich übrigens, die Prüfungen in denjenigen Fällen, wo es sich um die Feststellung neuer myrosinhaltiger Pflanzenarten handelt, in genügend grossen Zeitintervallen vorzunehmen, da die Geruchsnerven sehr bald durch das Senföl abgestumpft werden, ebenso sind bei der Prüfung andere Riechstoffe, Tabaksrauch u. dgl. fern zu halten.

II. In welchen Pflanzen und Pflanzentheilen kommt Myrosin vor?

Es konnte natürlich nur eine verhältnissmässig kleine Zahl von Familien auf das Vorhandensein von Myrosin geprüft werden, so dass die Vermuthung nahe liegt, dass sich das Enzym auch noch in anderen als den hier angegebenen wird auffinden lassen. Bislang war es nur in der Familie der Cruciferen aufgefunden worden; von dieser aber hat Guignard nachgewiesen, dass es in ihr ganz allgemein verbreitet ist. Ich selbst habe in der vorhin angegebenen Weise noch mehr Gattungen und Arten geprüft und kann bestätigen, dass sich fast immer das Myrosin nachweisen liess. Ganz vereinzelte Ausnahmen, in denen der Nachweis nicht mit Sicherheit gelang, kann man eher noch auf zu geringe Mengen, als auf totales Fehlen des Enzyms zurückführen.

Die Zersetzung des zugefügten Glycosids tritt oft erst nach geraumer Zeit ein; namentlich in den Fällen, wo Pflanzenschleime das Zusammenkommen von Glycosid und Enzym hindern. Beispielsweise trat die Zersetzung bei den Samen von Camelina sativa erst nach ca. sechs Stunden deutlich hervor.

Der schon von Vollrath wahrgenommene Geruch der Wurzeln von Reseda odorata und lutea nach ätherischem Senföl forderte zu einer Prüfung der Resedaceen auf Myrosin auf. Ich fand zunächst, dass ausser diesen beiden Arten alle übrigen der Gattung Reseda den senfölartigen Geruch zeigen; und zwar nur in den Wurzeln verräth sich die Anwesenheit von Senföl, alle übrigen Theile sind frei davon. Ich prüfte daher zunächst die Wurzeln, ohne indessen auch nur eine Spur von Myrosin nachweisen zu können. Nachdem sämmtliches Senföl aus den zerkleinerten Wurzeln entwichen war, konnte selbst nach reichlicher Hinzufügung einer wässerigen Lösung von Kaliummyronat keine weitere Bildung von Senföl wahrgenommen werden. Die Wurzeln enthalten mithin kein Myrosin. Anders hingegen steht es mit den grünen Theilen. Hier lässt sich mit Leichtigkeit Myrosin in Stengel und Blättern nachweisen, obwohl, wie schon bemerkt, gerade diesen Theilen das Senföl fehlt. Ja man kann hier sogar den Sitz des Myrosins noch näher angeben. Zieht man nämlich von einem Stück Stengel oder Blatt — am besten

eignet sich hierzu ein dickes, fleischiges Blatt, an dem die Operation ganz leicht auszuführen ist — sorgfältig die Epidermis ab, bestreut beide Theile, die Epidermis und den Rest, mit einem Körnchen Kaliummyronat und bringt sie einzeln auf die Zunge, so zeigt nur die Epidermis den Geschmack nach Senföl, der epidermisfreie Theil aber nicht. Bei Reseda ist also die Epidermis der Sitz des Myrosins. Wir kommen später hierauf noch zurück.

Untersucht wurden schliesslich noch die Samen von Reseda odorata. Das trockene Pulver ist an sich geruchlos; mit Wasser angerührt entwickelt es nach längerer Zeit schwach, aber deutlich Senföl. Nach Hinzufügung von myronsaurem Kali wird die Entwicklung bedeutend stärker. Es enthält also Myrosin. Es wird hiernach für die Gattung Reseda folgende Thatsache festgestellt: es enthalten

die Wurzeln	Senföl, kein Myrosin, myronsaures Kali;
die epidermisfreien, oberirdischen Theile	kein Senföl, kein Myrosin, kein myronsaures Kali;
die Epidermis der oberirdischen Theile	kein Senföl, Myrosin, kein myronsaures Kali;
die Samen	kein Senföl, Myrosin, myronsaures Kali.

Da in den neueren Pflanzensystemen die Resedaceen die Uebergangsgruppe von den Rhoeadineen zu den Parietalen bilden, und somit die Violaceen nicht allzu fern stehen, so hielt ich es für angezeigt, den letzteren meine Aufmerksamkeit zuzuwenden. In der That fand ich denn auch, dass die Samen von Viola nicht unbedeutende Mengen von Myrosin, aber kein myronsaures Kali enthalten. In den vegetativen Theilen von Viola odorata konnte trotz mehrfacher Prüfung kein Myrosin aufgefunden werden.

Der kressenartige Geruch und Geschmack der Tropaeolaceen lud ebenfalls zu einer Prüfung auf Myrosin ein. Aber trotzdem Blätter und Stengel von Tropaeolum majus deutlich den Geruch des von Hofmann untersuchten und im Wesentlichen als Alphatoluylsäure-Nitril erkannten ätherischen Oeles zeigen, so war eine Untersuchung auf Myrosin doch resultatlos. Dagegen gelang es in den Samen dieser Pflanze das Enzym sicher nachzuweisen. Die zerkleinerten, an sich geruchlosen Samen wurden mit Wasser ange-

rührt; es entwickelte sich sehr bald ein dem Senföl auf Augen und Nase nicht unähnlich wirkendes Gas, welches wahrscheinlich ebenfalls im Wesentlichen aus dem Nitril der Alphatoluylsäure besteht. Jedenfalls ist das Gas aber kein ätherisches Senföl, da es keinen Schwefel enthält, wovon ich mich durch folgenden Versuch überzeugte, der auf einem von Pincus[1]) zur Nachweisung sehr kleiner Mengen Senföles empfohlenen Verfahren beruht. Ich leitete das sich aus den Samen entwickelnde Gas in heisse, alkoholische Kalilösung und prüfte mit Nitroprussidnatrium auf etwa gebildetes Schwefelkalium, das Resultat war negativ. Das Gas enthält kein Senföl. — Nachdem die Emulsion des Samenmehles vollständig geruchlos geworden, fügte ich Kaliummyronat hinzu, worauf sich ätherisches Senföl entwickelte. Damit ist die Anwesenheit des Myrosins in den Samen von Tropaeolum bewiesen.

III. Genauere Untersuchung der myrosinhaltigen Pflanzen.

A. Die Myrosinschläuche der Cruciferen.

Für die Cruciferen ist die Localisation des Myrosins in gewissen Zellen, den Myrosinschläuchen, bewiesen durch Guignard's schon im geschichtlichen Theile angeführte Untersuchung. Eine sehr ausführliche topographisch-anatomische Beschreibung der Myrosinschläuche giebt der Entdecker Heinricher, welcher indessen ihren physiologischen Werth nicht richtig erkannt hat. In Folgendem ist alles, was physiologisch von Interesse ist, zusammengestellt und durch eigene Beobachtungen und Versuche ergänzt.

1. Die Myrosinschläuche in den vegetativen Organen.

a) *Reactionen.* Zur Feststellung der Reactionen benutzte ich Längsschnitte aus dem Rhizom von Cochlearia Armoracia, gelegentlich wurden dieselben aber auch an den Myrosinschläuchen anderer Cruciferen geprüft. Die Myrosinschläuche von Cochlearia Armoracia

1) Jahresbericht für pr. Chemie, Bd. 78, S. 112.

sind meist in besonders reichem Maasse mit Inhalt erfüllt und schön ausgebildet, so dass sie sich gut eignen, um sich mit denselben bekannt zu machen.

Wasser. Schnitte, in Wasser von gewöhnlicher Temperatur gebracht, zeigen keine Veränderung der Myrosinschläuche, selbst nicht nach langandauernder Einwirkung. Die Zellen sind selbst bei Uebung schwer von den Nachbarzellen zu unterscheiden. Näheres hierüber wird später angegeben werden. An Schnitten, die $^3/_4$ Stunden lang in Wasser von einer Temperatur niedriger als 60° gelegen hatten, war keine Veränderung wahrnehmbar. Bei 63° war schon nach wenigen Minuten der Beginn der Coagulation des Zellinhaltes zu bemerken. Wasser von 65° bewirkt fast momentan die Gerinnung des Myrosins. Dieselbe erfolgt in der Weise, dass sich aus der vollkommen klaren Lösung des Myrosins im Lumen der Zelle kleine, hellgraue oder bräunlichgelbe Körnchen ausscheiden, welche die ganze Zelle erfüllen, sie undurchsichtig machen und sie nun unter den übrigen Zellen leicht erkennen lassen. Das Coagulat wird um so grosskörniger, je langsamer die Steigerung der Temperatur geschieht. Es ist in Wasser, Aether, Alkohol unlöslich; von Kalilauge wird es rapide gelöst. Glycerin löst es nach langer Einwirkung, weshalb man bei Dauerpräparaten Glycerin nicht als Einschlussmittel verwenden darf.

Einfluss der Kälte. Schnitte, in Wasser auf dem Objectträger zum Gefrieren abgekühlt, zeigen an den Myrosinschläuchen keine Veränderungen, die sie von den Nachbarzellen unterscheiden. Der gefrorene Zellinhalt ist hell geblieben und nimmt beim Aufthauen wieder seine normale Beschaffenheit an. An allen Zellen ist eine schwache Plasmolyse bemerkbar. Die Abkühlung wurde bis auf — 13° getrieben.

In ähnlicher Weise wie heisses Wasser wirkt auch der Funkenstrom eines Inductionsapparates auf den Inhalt der Myrosinschläuche. Derselbe ist nach wenigen Augenblicken wahrscheinlich in Folge der Temperaturerhöhung vollständig zur Coagulation gebracht.

Alkohol. Absoluter und verdünnter Alkohol bringt das Myrosin der Myrosinschläuche zum Gerinnen.

Säuren. Allgemein bringen Mineralsäuren mässiger Concentration und auch organische Säuren Gerinnung des Myrosinschlauchinhaltes hervor.

Conc. Schwefelsäure fällt den Inhalt und färbt ihn nach einiger Zeit purpurroth, namentlich nach gelindem Erwärmen. Es ist das die Eiweissreaction bei Anwesenheit von Zucker. Und sofort drängt sich die Frage auf, woher stammt dieser Zucker? Ist er in der Zelle inquilin, oder wird er durch die Einwirkung der Schwefelsäure auf die Cellulose oder auf das Glycosid gebildet. Ich habe all' die üblichen mikrochemischen Zuckerreactionen versucht, ohne indessen in dieser Frage zu einer sichern Entscheidung gelangt zu sein. Es ist jedoch in hohem Maasse wahrscheinlich, dass in den Myrosinschläuchen auch Zucker vorhanden ist, da sich offenbar in ihnen die Spaltung des Glycosids vollzieht, bei der ja bekanntlich stets Zucker auftritt.

Conc. Salzsäure fällt den Inhalt. Das Coagulat färbt sich ganz schwach lila. Auf nachherigen Zusatz von Kalilauge werden die Myrosinschläuche orangeroth.

Salpetersäure färbt den Inhalt unter Fällung gelb. Die Färbung wird auf Zusatz von verdünnten Alkalien sehr intensiv (Xanthoproteïnreaction).

Chromsäure (5 : 100) fällt den Inhalt. Wäscht man Schnitte, die einige Zeit in einer Chromsäurelösung gelegen haben, schnell ab, so kann man an dem Coagulat die charakteristischen Chromsäurereactionen sehr schön hervorrufen. Es färbt sich auf Zusatz von Bleiacetat gelb, die Färbung verschwindet auf Zusatz von Alkalihydraten; mit Silber- oder Quecksilbernitrat rothbraun, mit Bariumchlorid gelb. Alle diese Farbenreactionen sind einfach Reactionen der Chromsäure. Das Coagulat hat keinen Einfluss auf das Zustandekommen der Farbstoffe selbst, es zeigt vielmehr nur die bekannte Eigenthümlichkeit der echten Eiweissstoffe, bei der Coagulation gewisse Stoffe aus den Lösungen an sich zu reissen und festzuhalten.

Nitrosoreactionen. Unter diesem Namen will Nickel[1]) eine Anzahl von Farbenreactionen organischer Körper zusammengefasst wissen, bei denen es sich um die Einführung der Nitrosogruppe (NO) handelt.

Millon's Reagens, d. i. eine Lösung der Nitrate des Quecksilberoxyds und -oxyduls mit Spuren salpetriger Säure, färbt den

---

1) Nickel, Die Farbenreactionen der Kohlenstoffverbindungen, Berlin 1890, S. 16.

Inhalt unter Coagulation roth. Die Reaction tritt erst nach einiger Zeit ein und wird durch Erwärmen beschleunigt. Es erweist sich diese Reaction als eine für die Myrosinschläuche sehr charakteristische. Weniger gut, aber ähnlich wirkt Hoffmann's Reagens, d. i. eine Lösung von salpetersaurem Quecksilberoxyd mit Spuren salpetriger Säure, und Plugge's Reagens, d. i. eine Lösung von salpetersaurem Quecksilberoxydul mit Spuren salpetriger Säure. Das wirksame Princip dieser Reagentien ist die salpetrige Säure, denn bringt man den Schnitt in eine Lösung von Kaliumnitrit und fügt Säure hinzu, z. B. Salzsäure oder Essigsäure, nicht Schwefelsäure, weil diese schon allein eine gleiche Farbenreaction hervorruft, so färbt sich der Myrosinschlauch ebenfalls roth. Allerdings glückt diese Reaction bei Weitem nicht so leicht, wie die mit Millon's Reagens.

Eine verdünnte Lösung von p-Diazobenzolsulfosäure, frisch dargestellt durch Eingiessen eines Gemisches von sulfanilsaurem Natron und Kaliumnitrit in verdünnte Schwefelsäure, färbt das Myrosin orangegelb.

Raspail's Reaction — Zucker und Schwefelsäure — färben die Idioblasten roth. Diese Reaction hat aber insofern keine Bedeutung, als schon Schwefelsäure allein die Röthung hervorruft, wie oben bereits angegeben wurde.

Isatin. Einige Körnchen Indigo wurden in Schwefelsäure gelöst und durch sehr wenig Salpetersäure in Isatin umgewandelt. Die Idioblasten färbten sich damit braunroth.

Jod. Besonders schön lässt sich die Einwirkung des Jods an plasmolysirten Schläuchen beobachten. Der Inhalt färbt sich fast goldgelb, die etwa im Protoplasma der Myrosinschläuche liegende, stets sehr kleinkörnige Stärke blau. (S. Fig. 1).

Biuretreaction — Kupfersulfat und Kalilauge — bringt nach Heinricher keine günstige Reaction hervor. Mir gelang sie an den grossen, sehr inhaltsreichen Schläuchen von Cochlearia Armoracia bisweilen recht gut. Namentlich beim Erwärmen liess die in üblicher Weise angestellte Reaction den Inhalt tief violett erscheinen.

Eisenchlorid und Blutlaugensalz. Auch diese Reaction gelingt nicht leicht. Die besten Resultate erzielte ich in folgender Weise: Schnitte von Cochlearia Armoracia wurden in eine wässerige Lösung von Eisenchlorid gelegt und darin gekocht, darauf in Wasser schnell

abgespült und in der Blutlaugensalzlösung geprüft. Das Coagulat färbt sich dann blau.

Anilinfarbstoffe tingiren die Schläuche sehr intensiv, zumal wenn man den Inhalt durch Kochen gefällt hat. Congoroth, welches durch eine Spur Essigsäure gerade violett gemacht wurde, schlägt wieder in roth um und verleiht den Schlauchzellen diese Farbe. Die Reaction der Schläuche ist mithin wohl alkalisch.

Guignard giebt an, dass die Myrosinschläuche sich mit conc. Salzsäure, der man einen Tropfen einer wässerigen Orcin-Lösung beigefügt hat, violett färben. Ich habe zwar diese Reaction auch geprüft, ohne indessen besonders günstige Resultate zu erhalten, eine schwache Violettfärbung war allerdings bemerkbar. Viel schöner gelingt die Reaction, wenn man statt Orcin-Lösung einen Tropfen Orceïn-Lösung (1 : 10) der conc. Salzsäure zufügt.

Pepsin und Salzsäure löst den durch Kochen coagulirten Inhalt, aber erst nach geraumer Zeit.

Verhalten der Myrosinschläuche zu myronsaurem Kali.

Wie schon wiederholt erwähnt, wird das Glycosid myronsaures Kali durch das enzymartig wirkende Myrosin gespalten. Indess kann man nicht mit einer begrenzten Quantität Myrosin eine unbegrenzte Quantität des Glycosids spalten, wie es der Begriff Enzym fordert. Vielmehr erlischt die Wirksamkeit des Myrosins, nachdem eine gewisse, allerdings grosse Quantität des Glycosids zerlegt worden ist. Einer solchen Veränderung der Eigenschaft liegt nun aber auch stets eine materielle Veränderung zu Grunde. Ich versuchte in folgender Weise, ob sich dieselbe in irgend einer Art zu erkennen giebt. Frische Schnitte von Cochlearia Armoracia, deren Myrosinschläuche, wie ich mich überzeugte, reich mit Inhalt erfüllt waren, wurden in eine Lösung von myronsaurem Kali in Wasser (1 : 10) gelegt. Es entwickelten sich bedeutende Mengen von Senföl. Nach 24 Stunden wurde ein Schnitt gekocht, die Myrosinschläuche zeigten sämmtlich eine Abnahme des Gerinnsels, welches bei den frischen Schnitten den Schlauch vollständig erfüllte. Die Schnitte wurden nun fernerhin in der Glycosidlösung belassen; der Inhalt der Schläuche nahm, wie eine täglich vorgenommene Prüfung ergab, immer mehr ab und war am fünften Tage total verschwunden. Dass hier nicht eine einfache Diffusion vorliegt, wird dadurch bewiesen, dass Schnitte,

die ebenso lange in Kochsalz-, Zucker- oder Salpeterlösung gelegen hatten, stets noch reich mit gerinnbarem Inhalt erfüllt waren.

b) *Die Myrosinschläuche der Cruciferen im natürlichen, unveränderten Zustande.*

Wenn auch das Auffinden der Myrosinschläuche mit Hilfe der angeführten Reactionen keinerlei Schwierigkeiten bereitet, so ist es doch keineswegs leicht, die Zellen im natürlichen, unveränderten Zustande, d. h. bei der Untersuchung frischer Schnitte in Wasser, mit Sicherheit zu erkennen. Ausgezeichnet sind sie durch das constante Fehlen des Chlorophylls, den wasserhellen, optisch inactiven Zellinhalt und bei manchen Arten durch eine ausgesprochene Längsstreckung in älteren Organen. In überwinternden Organen, z. B. im Rhizom von Cochlearia Armoracia, deren Zellen reich erfüllt sind mit grosskörniger Stärke, erkennt man die Schläuche ziemlich leicht an der wenigen kleinkörnigen Stärke, die in dem Protoplasma derselben eingebettet ist, während die Zellen des Parenchyms grosskörnige Stärke führen. Noch deutlicher und leichter lassen sich die Myrosinschläuche in plasmolysirten Schnitten auffinden.

c) *Physiologische Beobachtungen an den Myrosinschläuchen der Cruciferen.*

Die Frage, ob und wie die Entwickelung der Myrosinschläuche durch die Ernährung, sowie durch Standort und Bodenverhältnisse beeinflusst wird, ist von mir eingehend geprüft worden. Fünf Blumentöpfe wurden mit je 2—3 Samen von Sinapis alba besäet. Entwickelungsdauer vom 17. Mai bis 12. September, also 116 Tage. Von diesen Töpfen war A mit märkischem gelben Sandboden, B mit gewöhnlichem humusreichen Gartenboden, C mit Moorboden, dem einige Gramm Calciumcarbonat beigemengt wurden, D mit Mergel, E mit Thonboden gefüllt. In sämmtlichen Töpfen kamen die Senfpflanzen zur Entwickelung, aber sie entwickelten sich sehr ungleich, in der Reihenfolge, wie die Kulturen hier aufgeführt sind, so dass in A die bestentwickelten, in E total verzwergte Pflanzen wuchsen. Es wurden nun homologe Internodien und Blätter vergleichend auf ihre Myrosinschläuche geprüft. In allen Fällen liessen sie sich nachweisen. Ferner zeigten sich aber auch offenbare Beziehungen der Myrosinschläuche zur Länge der Internodien und zur Grösse der Blätter. Wo diese Sprosstheile verzwergt waren oder

doch in der Entwickelung die Norm nicht erreicht hatten, waren doch reichlich Myrosinschläuche nachweisbar und ihr durch Kochen zur Coagulation gebrachter Inhalt füllte vollständig die Zellen; aber eine Längsstreckung war an ihnen nicht zu constatiren, in der Form unterschieden sie sich kaum von den Nachbarzellen des Parenchyms. Anders verhielt es sich bei den normal entwickelten Pflanzen. Hier war eine beträchtliche Längsstreckung der Idioblasten wahrnehmbar, aber sie traten spärlicher auf und der geronnene Inhalt füllte oft kaum $^2/_3$ des Zelllumens. Es trifft also nach meinen Beobachtungen nicht zu, was Heinricher findet, dass nämlich „die Zahl der vorhandenen Schläuche proportional der verminderten Grösse der Individuen sinkt, also proportional der gesteigerten Hemmung in der Entwickelung." Im Gegentheil steigert sich die Zahl der Myrosinschläuche bei Reduction eines Organes im Verhältniss zur Norm, so dass beispielsweise in zwei homologen Internodien zweier Pflanzen, deren Längen und Durchmesser sich wie 2 : 1, deren Volumina mithin sich wie 8 : 1 verhalten mögen, sich die Zahl der Myrosinschläuche nicht wie 8 : 1, sondern wie (< 8) : 1 sich verhalten. Ich gewann dies Resultat beim Vergleich von Längsschnitten aus homologen Internodien verschiedener Senfpflanzen durch zahlreiche Schätzungen und Zählungen. Die Länge der zum Vergleich gewählten Schnitte wurde so genommen, dass sie der Länge des Internodiums proportional war, aus dem der Schnitt stammte. Quantitative Analysen des Myrosins würden überhaupt zweifellos ergeben, dass die abnorm kleinen Pflanzen verhältnissmässig mehr Myrosin produciren als die normalen. Jedoch sind solche Analysen bei unserer fast noch gänzlichen Unkenntniss der Eiweiss- und eiweissartigen Körper zur Zeit nicht ausführbar.

Es wurde ferner das Fehlen oder ungenügende Vorhandensein von Nährstoffen auf die Entwickelung der Myrosinschläuche geprüft. Es wurden vier mit geglühtem und rein ausgewaschenem Quarzsand gefüllte Sandkulturen mit Sinapis alba besäet und mit Nährlösungen beschickt, von denen die erste stickstofffrei, die zweite phosphorfrei, die dritte schwefelfrei waren oder diese Stoffe in einer chemisch nicht mehr nachweisbaren Menge enthielten; die vierte war mit einer Normallösung getränkt. Nur die vierte Kultur entwickelte sich normal, die Pflanzen der zweiten und dritten verhungerten, nachdem sie wenige Laubblätter gebildet hatten. Die stickstofffreie Kultur

kam zur vollen Entwickelung, wenn auch verzwergt, blühte und ergab drei Samenkörner, die verkümmert und nicht keimfähig waren, wovon ich mich an zweien überzeugte. Es lässt sich dies Verhalten kaum anders erklären, als dass ein minimaler Gehalt an Stickstoff doch in der Kultur vorhanden war. Es wurden in allen vier Fällen kurze, reichlich auftretende und ziemlich inhaltsreiche Myrosinschläuche aufgefunden.

Als allgemeines Resultat aus all' diesen Kulturversuchen ergiebt sich, dass durch Standortsverhältnisse und Ernährungseinflüsse die Bildung der Myrosinschläuche nicht unterdrückt werden kann und dass durch Hemmung in der Entwickelung der Pflanze eine Steigerung in der Myrosinproduction eintritt.

Schon Heinricher hat die Entwickelung der Idioblasten im Dunkeln, sowie den Einfluss der Lichtentziehung auf die bereits gebildeten geprüft und gefunden, dass zwar Idioblasten in den im Dunkeln entstandenen Organen gebildet, die vorher schon gebildeten aber stets inhaltsärmer werden.

Von mir wurden hierüber folgende Versuche angestellt. An einer Anzahl im Keller überwinterter Rhizomstücke von Cochlearia Armoracia wurden vom oberen Ende etwa 15 cm lange Stücke abgeschnitten und diese etwa 10 cm tief in destillirtes Wasser gestellt. Die Kulturen wurden im Dunkeln zur Entwickelung gebracht. Der anatomische Befund vor Anstellung der Versuche war folgender: das Parenchym des geprüften Rhizoms war an allen Stellen reichlich erfüllt mit länglichen Stärkekörnern. Das durch Kochen erzeugte dicke Coagulat der Myrosinschläuche erfüllte vollständig das Lumen der Zelle. Mit Jod liess sich im Protoplasma der Myrosinschläuche sehr kleinkörnige Stärke in ziemlich reichem Maasse nachweisen. Nach vier Wochen hatten die Rhizome reichlich Wurzeln und etiolirte Blätter gebildet, welch' letztere sehr schön den allgemeinen Typus etiolirter Blätter — Ueberverlängerung der Stengelglieder und Verkümmerung der Lamina — zeigten. Diese neugebildeten Organe müssen natürlich auf Kosten der im Rhizom aufgespeicherten Reservestoffe gebildet sein, was sich auch bei der an einem Exemplare jetzt angestellten anatomischen Untersuchung zeigte: die Reservestärke des Parenchyms hatte bedeutend an Menge abgenommen, die kleinkörnige Stärke der Myrosinschläuche war verschwunden, das dicke Coagulat der gekochten Myrosinschläuche erfüllte aber noch

immer vollständig das Lumen der Zelle; die reichlich in den neuentstandenen Wurzeln und Blättern vorkommenden Schläuche waren ebenfalls vollständig mit Myrosin erfüllt.

An einigen Rhizomen wurden nun sämmtliche Blätter und Wurzeln entfernt. Nach Verlauf weiterer vier Wochen hatten sie trotzdem eine fast ebenso grosse Menge neugebildet. Die mikroskopische Prüfung ergab jetzt Folgendes: die Reservestärke war vollständig verschwunden, die Myrosinschläuche enthielten noch immer grosse Mengen Myrosin, doch war jetzt sowohl in denen des Rhizoms, als auch in denen der neugebildeten Wurzeln und Blätter ausgesprochen ein Mindergehalt gegen früher zu erkennen. Ein Unterschied zwischen den Myrosinschläuchen der von Wurzeln und Blättern befreiten und den der übrigen Rhizome war nicht zu bemerken. Es wurden nun die Kulturen sich selbst überlassen, bis keine Neubildung von Blättern und Wurzeln mehr erfolgte und die Pflanzen anfingen zu verhungern und einzugehen. Auch in diesem Zeitpunkt waren die Myrosinschläuche noch mit allerdings sehr wenig Myrosin erfüllt. — Ein Laubblatt von Sinapis alba wurde an seiner oberen Hälfte beiderseitig mit Stanniol umhüllt; an einem homologen Blatte einer zweiten Pflanze wurden die Myrosinschläuche geprüft, sie waren mit Myrosin angefüllt. Nach etwa drei Wochen wurde das mit Stanniol umkleidete Blattstück untersucht: das Chlorophyll war verschwunden, die Myrosinschläuche waren aber wenig inhaltsärmer geworden. — Aus diesen Versuchen folgt: 1. Die Bildung des Myrosins erfolgt unabhängig vom Licht, zum Theil wahrscheinlich aus Reserve-Eiweissstoffen. 2. Dem Myrosin kommt nicht in erster Linie der Charakter einer Reservesubstanz zu, es ist aber auch kein Schlackenproduct des pflanzlichen Stoffwechsels, d. h. kein Secret, da es schliesslich doch noch von der Pflanze wieder aufgenommen und für Lebenszwecke verwendet wird.

Das Verhalten der Myrosinschläuche in functionslos werdenden Organen ist von mir an alten Kotyledonen der Keimpflanzen von Sinapis alba untersucht worden. Ich konnte daran nachweisen, dass die Myrosinschläuche sehr lange ihren Inhalt behalten, wenn auch die Kotyledonen schon anfangen functionslos zu werden und zu vergilben. Normaler Weise abgefallene Kotyledonen wurden wiederholt untersucht und es fanden sich die Myrosinschläuche stets mit mehr oder weniger Inhalt erfüllt; ganz inhaltsleer oder voll fand

ich sie indessen niemals. Hieraus geht hervor, dass die Pflanze zwar aus functionslos werdenden Organen das Myrosin wegtransportiren kann, dass aber im Allgemeinen in den Organen ein Ueberschuss aufgespeichert ist, für welchen die Pflanze weiter keine Verwendung hat.

2. Die Myrosinschläuche der Cruciferen-Samen.

Behandelt man dünne Schnitte aus dem Samen von Sinapis alba oder nigra mit Millon's Reagens, so treten, wie Heinricher zuerst gefunden hat, „trotz der ausgesprochenen Eiweissreaction, welche alle Zellen bei Behandlung mit Millon's Reagens geben, doch bestimmte Zellen durch besonders blutrothe Färbung hervor". Solche Zellen hat Guignard in den Samen sehr vieler Cruciferen nachgewiesen und sie mit Recht als die den Myrosinschläuchen der vegetativen Theile analogen Gebilde aufgefasst. Eingehender untersucht sind die Myrosinschläuche der Samen indessen bis jetzt nicht; ich habe sie namentlich in physiologischer Hinsicht geprüft und gebe in Folgendem die Resultate meiner Untersuchung.

a) *Die Myrosinschläuche des Samens in unverändertem Zustande.*

Betrachtet man sehr dünne Querschnitte eines beliebigen Cruciferen-Samens — am besten eignet sich für die erstmalige Beobachtung der Same von Isatis tinctoria, Sinapis alba, auch Camelina sativa dazu — in Mandelöl unter dem Mikroskop, so sieht man das Parenchym der Kotyledonen und der Radicula erfüllt mit grösseren oder kleineren, mehr oder weniger hell lichtgelben Aleuronkörnern, die in der Mehrzahl der Fälle ausgezeichnet sind durch eine sehr grosse Anzahl kleiner Globoïde. Hier und da beobachtet man aber auch einzelne Zellen, die als helle, stark lichtbrechende Inseln hervortreten. Wäscht man das Oel mit Chloroform oder Schwefelkohlenstoff weg und fügt darauf Millon's Reagens zu dem Schnitt, so sieht man, dass nur diese Inseln jene von den Myrosinschläuchen der vegetativen Organe her bekannte charakteristische Rothfärbung zeigen. Wir müssen daher diese hell aus dem gelblichen Parenchym hervortretenden Zellen als die Myrosinschläuche des Samens ansehen. — Bei genauerer Betrachtung dieser Zellen in Oel findet man nun, dass sie angefüllt sind mit Körnern, die stark lichtbrechend, farblos,

vollkommen homogen und ohne irgend welche Einschlüsse, von einer äusserst zarten Membran umkleidet, im Hartplasma eingebettet sind (s. Fig. 3—6). Die Körner werde ich als Myrosinkörner bezeichnen. Form, Grösse und Zahl der in einem Myrosinschlauch enthaltenen Myrosinkörner ist innerhalb gewisser Grenzen für die Species constant, aber für verschiedene Species variabel. Wir finden Myrosinkörner, die etwas kleiner als die Aleuronkörner von vollkommen oder fast vollkommen kugeliger Form in grosser Anzahl die Zelle erfüllen, dies ist beispielsweise fast die Regel bei den Brassiceen. Ferner kommt es vor, dass ein einzelnes Myrosinkorn im Schlauch solitärartig ausgebildet ist, während die übrigen dann sehr klein sind. Auch kann ein einziges, grosses Myrosinkorn das Lumen der Zelle erfüllen; so fand ich es z. B. bei Alliaria officinalis. Stets aber sind die Körner ausgezeichnet durch die oben angegebenen Merkmale: Optische Inactivität, starkes Lichtbrechungsvermögen, Homogenität der farblosen Masse und eine gewisse Pellucidität. Das einzelne Korn ist in jedem Falle ringsumhüllt von Plasma, aus dem es natürlich hervorgegangen ist. Es ist nicht leicht, die weniger zahlreichen Myrosinzellen unter den zahlreichen mit Aleuronkörnern erfüllten Zellen ohne Reagentien sicher aufzufinden und zu unterscheiden, was schon daraus hervorgeht, dass sie bei den zahlreichen Untersuchungen über Aleuron stets übersehen worden sind. Tschirch[1]) will in dem keimenden Samen von Sinapis alba, der stets stärkefrei ist, Amylodextrinkörner aufgefunden haben. Dieselben sollen sich mit Jod rothbraun färben. Es ist wahrscheinlich, dass er die Myrosinkörner sah, welche mit Jod in dieser Weise reagiren.

Folgende kleine Tabelle stellt die wichtigsten im unveränderten Zustande bemerkbaren Unterschiede der Myrosin- und Aleuronkörner zusammen:

Myrosinkörner	Aleuronkörner
1. Nie Einschlüsse.	1. Stets Einschlüsse, meist zahlreiche kleine Globoïde.
2. Hell.	2. Fast stets hell lichtgelb.
3. Stärker lichtbrechend.	3. Schwächer lichtbrechend.

1) Tschirch, Angewandte Pflanzenanatomie, Bd. I, S. 100.

b) *Das Verhalten der Myrosinkörner gegen Reagentien.*

Ganz allgemein treffen alle diejenigen Reactionen, welche wir bei den Myrosinschläuchen der vegetativen Organe angaben, auch hier zu, bei denen es sich nicht um eine einfache Aufspeicherung von Farbstoffen handelt, sondern wo das Myrosin selbst chemische Farbenreactionen zeigt und zwar noch bei Weitem besser als dort, da ja hier das Myrosin in fester, also concentrirtester Form vorliegt, während es in den vegetativen Organen nur in gelöster Form vorkommt. Ich gebe deshalb bloss an, was die Myrosinkörner von dem flüssigen Myrosin unterscheidet.

Löslichkeit. Die Myrosinkörner sind unlöslich in Oel, Aether, Alkohol, Schwefelkohlenstoff u. s. w., sie sind ziemlich leicht löslich in Glycerin (worin die Aleuronkörner bekanntlich unlöslich sind), sie lösen sich rapide in Wasser. Diese Löslichkeit in Wasser wurde nicht aufgehoben dadurch, dass die Schnitte aus dem Samen von Sinapis alba 24 Stunden trocken einer Hitze von 100° bis 105° ausgesetzt wurden; wie denn überhaupt durch Erhitzen die Myrosinkörner keine ihrer Reactionsfähigkeiten einbüssten. Schnitte von Sinapis alba wurden in 2 % Sublimatalkohol gelegt, wodurch bekanntlich die Aleuronkörner gehärtet und unlöslich in Wasser werden. Brachte ich Schnitte, die 24 Stunden in Sublimatalkohol gelegen hatten, in Wasser, so blieben zwar die Aleuronkörner unverändert, aber die Myrosinkörner lösten sich ziemlich leicht auf. So behandelte Schnitte mit einer Anilinfarbstofflösung tingirt, speichern den Farbstoff in den Aleuronkörnern auf, an den Myrosinschläuchen bemerkt man eine tiefe Tinction des mehr oder weniger spindelförmigen, plattgedrückten Zellkerns, während das ebenfalls gehärtete Gerüst von Hartplasma sich weniger lebhaft färbt (s. Fig. 8).

Mit ein paar Worten möchte ich an dieser Stelle auf das Vorkommen des Emulsins in den Samen der Amygdalaceen eingehen. Es lag der Gedanke nahe, nachdem ich für die Cruciferen-Samen das Myrosin in der eben angegebenen Form als Myrosinkörner aufgefunden hatte, nach ähnlichen Gebilden in den Samen jener Pflanzen zu suchen. Und in der That fand ich in den noch nicht differenzirten Procambiumzellen Körnchen, welche nach Reaction und Ansehen kleinen Myrosinkörnern äusserst ähnlich waren. Wie diese

sind auch sie frei von Einschlüssen und hierdurch gegen die mit zahlreichen Globoïden durchsetzten Aleuronkörner genügend charakterisirt. Da nun nach Thomé und Andern die Procambiumstränge als der Sitz des Emulsins anzusehen sind, so wird man die hier aufgefundenen Gebilde als Emulsinkörner zu bezeichnen haben.

Da die Kotyledonen der meisten Amygdalaceen sehr reich angefüllt sind mit fettem Oel und dies die Beobachtung und Auffindung der Emulsinkörner sehr erschwert, so empfiehlt es sich, die Schnitte vorher in Alkohol zu legen und sie darin oder auch in Oel zu untersuchen.

Noch sei es mir gestattet, eine gelegentlich aufgefundene mikrochemische Reaction hier mitzutheilen, welche zeigt, dass die Spaltung des Glycosids der bittern Mandeln, des Amygdalins, hauptsächlich in der Nähe der Emulsinspeicherzellen vor sich geht. Bei der Spaltung entsteht bekanntlich unter Anderem Blausäure; diese lässt sich aber selbst in den minimalen Mengen, die ein nicht zu dünner Längsschnitt aus dem Samen einer bittern Mandel producirt, noch durch das empfindlichste Reagens auf Blausäure, Guajakharzlösung, nachweisen. Legt man nämlich solche Schnitte wenig mit Wasser angefeuchtet auf den Objectträger und fügt nach einiger Zeit eine schwache alkoholische Guajakharzlösung hinzu, so färbt sich der ganze Schnitt blau, ganz intensiv aber nur die Procambiumzellen und hieraus geht hervor, dass die Bildung der Blausäure hier, wo also das Emulsin ausschliesslich liegt, am stärksten ist.

c) *Physiologisches Verhalten der Myrosinkörner bei Quellung und Keimung.*

Das Verhalten der Myrosinkörner beim Einquellen der Samen wurde bei Sinapis alba verfolgt. Im Wesentlichen ist es das gleiche wie das der Aleuronkörner. Das Imbibitionsvermögen scheint etwas grösser zu sein bei den Myrosinkörnern, wie aus der etwas grösseren Zunahme des Volumens hervorgeht. Das Einquellen wurde in der Weise vorgenommen, dass die Samen in frisch abgekochtes Wasser gebracht wurden, von dem sie stets vollständig bedeckt gehalten wurden. Da somit eine der allgemeinen äusseren Lebensbedingungen, die Luft, fehlte, so konnte auch von einer Auslösung der Lebensthätigkeit des Protoplasmas nicht die Rede sein, und es konnten nur einfache physikalische und chemische Veränderungen an den

Myrosinkörnern angenommen werden. Nach Verlauf von je 24 Stunden wurden nun Samen aus dem Wasser genommen, rasch eingetrocknet und Schnitte in Oel unter dem Mikroskop geprüft. In den ersten acht Tagen konnten Veränderungen der Myrosinkörner dieser Samen von den der normalen, ungequollenen überhaupt nicht wahrgenommen werden. Stets lagen sie in der Hartplasmamasse eingebettet unverändert da. Später schrumpften sie zwar etwas zusammen, aber ein Zusammenfliessen mehrerer Körner zu einem grösseren, was bedingt gewesen wäre durch das Zerreissen der Protoplasmahüllen, konnte niemals, selbst nach dreiwöchentlichem Einquellen, beobachtet werden. Das Protoplasma konnte eben, wie gesagt, durch den Mangel an Sauerstoff keinerlei Lebensäusserungen zeigen. Ganz anders gestaltete sich das Verhalten, wenn man den Samen nach 24stündigem Einquellen in einen Keimapparat brachte, in dem nach weiterem Verlauf von 24 Stunden schon die Radicula zum Vorschein kam und die Kotyledonen anfingen sich zu entfalten. Trocknete man diesen Samen rasch und untersuchte Schnitte in Oel, so ergab sich, dass stets ein Zerreissen des Protoplasmagerüstes, verbunden mit dem Zusammenfliessen mehrerer Myrosinkörner, erfolgt war. Bei normal ergrünten Kotyledonen waren stets sämmtliche Myrosinkörner zu einer Vacuole zusammengeflossen; das Protoplasma mitsammt dem Zellkern war wandständig geworden. Durch Härten der Schnitte in Sublimatalkohol und Tingiren mit Eosin konnte man dies leicht nachweisen.

In den sich entwickelnden unreifen Samen konnten die Myrosinschläuche schon sehr frühzeitig wahrgenommen werden. Heinricher fand sie schon in den Integumenten der Samenanlage. Jedenfalls sind sie aber zu der Zeit, wo die Kotyledonen anfangen zu ergrünen, stets auffindbar. Es differenziren sich nämlich die Zellen des Parenchyms in solche mit und ohne Chlorophyll; nur die letzteren sind myrosinhaltig. Mit Jodjodkalium gelang es stets leicht sowohl in den chlorophyllführenden Zellen als auch in den chlorophylllosen Myrosinschläuchen kleinkörnige, transitorische Stärke aufzufinden. Die normal entwickelten, reifen Cruciferensamen sind bekanntlich total stärkefrei.

B. Die myrosinhaltigen Zellen der Resedaceen.

Wie wir oben zeigten, sind die Epidermis der grünen vegetativen Organe sowie auch die Samen der Gattung Reseda ausgezeichnet durch einen Gehalt an Myrosin, während alle übrigen Theile frei davon sind. Es lag der Gedanke nahe, zu untersuchen, ob nicht auch hier das Enzym in gewissen Zellen localisirt ist. Bringt man ein Stückchen Epidermis in Wasser auf den Objectträger bis fast zum Kochen, so sieht man, dass gerade die Schliesszellen der Spaltöffnungen es sind, deren vorher wasserheller Inhalt zu einer trüben kleinkörnigen Masse coagulirt ist. Da die Schliesszellen allgemein bekanntlich sehr reich an albuminoiden Stoffen sind, so hat dies Verhalten an und für sich nichts Auffälliges an sich, aber die Menge des Coagulats, die, soviel ich fand, bei den in gleicher Weise behandelten Schliesszellen keiner anderen Pflanze erreicht wird, fesselt die Aufmerksamkeit doch, zumal das Myrosin in der Epidermis enthalten sein muss, und die übrigen Zellen der Epidermis keinerlei Veränderungen zeigen, die auf das Vorhandensein des Enzyms in ihnen schliessen liessen. Ich prüfte nun der Reihe nach die auf S. 56—60 angegebenen Reagentien der Myrosinschläuche und fand, dass die Reactionen der Schliesszellen in jedem Falle die gleichen waren: Millon's Reagens färbt den coagulirten Inhalt intensiv roth, ebenso concentrirte Schwefelsäure, Orceïn-Salzsäure violett, Jodjodkalium braunroth, wobei man zahlreiche kleine Stärkekörner wahrnimmt u. s. w., immer erhielt ich die nämliche Reaction wie bei den Myrosinschläuchen der Cruciferen.

Umgekehrt ist hiermit aber auch eine weitere Stütze für die Behauptung Guignard's gewonnen, dass nämlich die durch ihren albuminoiden Zellinhalt ausgezeichneten Idioblasten ausschliesslich das Myrosin enthalten; ja es muss sogar jeder Zweifel schwinden — falls ein solcher überhaupt noch bestand — wenn wir Folgendes bedenken. Wir haben auf rein makrochemischem Wege ermittelt: 1. dass ein Stengel, Blatt etc. einer beliebigen Crucifere myrosinhaltig ist; 2. dass die Epidermis der Reseda-Arten es ebenfalls ist. Offenbar muss nun dasjenige das Myrosin sein, was in keiner anderen myrosinfreien Pflanze auffindbar, beiden Organen, der Epidermis von Reseda und dem Stengel, Blatt etc. der Crucifere gemeinsam ist;

und das ist allein jener wässerige, helle, in der Hitze coagulirende, durch eine Reihe höchst charakteristischer Reactionen ausgezeichnete Zellsaft, der bei den Cruciferen in den dem Parenchym eingestreuten oder als Elemente der Gefässbündel auftretenden Idioblasten, eben den Myrosinschläuchen, bei den Resedaceen in den Schliesszellen der Spaltöffnungen ausschliesslich enthalten ist. Leider kann ich für den myrosinhaltigen Samen von Reseda odorata eine ähnliche Localisation nicht constatiren. Schnitte aus dem Samen, mit Millon's Reagens behandelt, färben sich ganz gleichmässig intensiv roth; ebenso wirkt Schwefelsäure. Möglicher Weise liegt hier ebenfalls das Myrosin in den später sich zu Schliesszellen differenzirenden Zellen der Kotyledonen, oder aber, was sehr unwahrscheinlich ist, es ist in sämmtlichen Zellen des Parenchyms vertheilt; sicher ermitteln konnte ich es nicht.

Obwohl es von vornherein fast sicher war, dass das Resultat der Untersuchung negativ sein musste, so wurden dennoch die Wurzeln der Resedaceen mit den für die Myrosinschläuche der Cruciferen angegebenen Reagentien geprüft, aber in keinem Falle konnten in den Myrosinschläuchen oder -schliesszellen analoge Gebilde aufgefunden werden. Es überraschte dies Ergebniss insofern gar nicht, als ja die makrochemische Prüfung der Wurzeln ergeben hatte, dass sie zwar Senföl, aber kein Myrosin enthalten.

C. Das Myrosin im Samen von Viola.

Der Samen der Gattung Viola ist thatsächlich myrosinhaltig. Aber auch hier gelang es mir nicht, eine Localisation des Enzyms aufzufinden, aus demselben Grunde wie beim Samen von Reseda. Der Schnitt färbt sich mit Millon's Reagens, sowie mit conc. Schwefelsäure intensiv roth, aber ganz gleichmässig, und auch die übrigen Myrosin-Reagentien lassen keine Zellen von besonderer Reaction hervortreten. Die vegetativen Organe von Viola sind myrosinfrei.

D. Das Myrosin im Samen von Tropaeolum.

Glücklicher war ich bei dem ebenfalls myrosinhaltigen Samen von Tropaeolum majus. Legt man hiervon dünne Schnitte in

Millon's Reagens, so treten zerstreut im Parenchym Zellen von der charakteristischen rothen Färbung auf, auch die übrigen Myrosin-Reactionen treffen auf's Beste überein, so dass zweifellos hier den Myrosinschläuchen der Cruciferen analoge Gebilde vorliegen. Eine Untersuchung in Oel ergab, dass auch hier die Myrosinschläuche mit Myrosinkörnern angefüllt sind. Sie sind indessen noch schwerer unter den Aleuronkörnern aufzufinden wie bei den Cruciferen, da sie an Grösse gar nicht unterschieden sind, und nur die etwas hellere Färbung sie gegen die Aleuronkörner auszeichnet (s. Fig. 7).

Ueber die Grössenverhältnisse der Myrosinkörner zu den Aleuronkörnern wird folgende Tabelle einigen Aufschluss gewähren. Da die Zahlen wenig Charakteristisches bieten, so beschränke ich die Angaben auf folgende Samen:

Name	Myrosinkorn	Aleuronkorn	Bemerkungen
Alliaria officinalis . .	(34 : 27)[1]), 4—9	3,5—12,5	[1]) Längs- und Querdurchmesser des Solitärs.
Crambe cordifolia . .	1 — 5	1,5— 9	
Isatis tinctoria . . .	3,5—12,6	2 — 9	
Raphanus Raphanistrum	11 —20	10,5—18	NB. Die Zahlen sind Mikromillimeter.
Sinapis alba	2 —15,5	2 —13,5	
Tropaeolum majus . .	1,5— 8,5	1,5— 9	

IV. Bedeutung des Myrosins im Leben der Pflanze.

Was die Bedeutung des Myrosins für das Leben der Pflanze betrifft, so liegt der Gedanke nahe, dass ihm im Wesentlichen die Aufgabe zukommt, Glycoside zu spalten. Bis jetzt kennt man indessen nur zwei Glycoside, die das Enzym zu spalten vermag: myronsaures Kali und Sinalbin, das Glycosid des weissen Senfs. Doch ist es wohl zweifellos, dass auch noch andere Glycoside dem Angriff des Myrosins unterliegen, ja ziemlich wahrscheinlich, dass in jedem Falle, wo wir Myrosin nachweisen können, auch ein Glycosid vorhanden ist, welches durch Myrosin gespalten wird. Folgende Versuche sind geeignet, diese Ansicht zu stützen.

Bekanntlich ist eins der Spaltungsproducte jedes Glycosids in jedem Falle Traubenzucker. Rührt man nun zu Pulver zerriebenen Samen von Viola odorata, welcher weder Kaliummyronat noch Sinalbin enthält, da die diesen Glycosiden eigenen Spaltungsproducte niemals auftreten, mit Wasser an und filtrirt rasch, so kann man in dem geruchlosen Filtrat mit Fehling'scher Lösung nur wenig Zucker nachweisen: das, wie vorhin gezeigt, in dem Samen enthaltene Myrosin hat noch nicht genügend Zeit gefunden, die Spaltung des vermutheten, aber uns noch nicht bekannten Glycosids vorzunehmen; denn eine gewisse Zeit muss ja bei jedem fermentativen Processe verstreichen, ehe die Spaltungsproducte auftreten. — Dass ein Glycosid in unserem Falle aber in der That vorliegt, lehrt der fortgesetzte Versuch. Wird nämlich eine zweite Portion des Pulvers ebenfalls mit Wasser angerührt, aber 24 Stunden stehen gelassen und dann in gleicher Weise behandelt, so zeigt das Filtrat sehr stark die Zuckerreaction. Es muss also ein Glycosid durch das Myrosin gespaltet worden sein. Freilich könnte hier der Einwand erhoben werden, dass im Laufe der für den zweiten Versuch benöthigten Zeit das Samenmehl ohne Glycosidspaltung die Zuckermengen producirt habe, da durch den Mahlprocess das Protoplasma nicht nothwendig abgetödtet zu sein braucht. Ist es aber schon unwahrscheinlich, dass die einem so groben mechanischen Eingriffe unterworfenen Gewebstrümmer noch im Stande sind, durch irgend welche Vorgänge des Stoffwechsels neuen Zucker zu produciren, so hielt ich es doch für nöthig, einen schlagenderen Beweis für die Richtigkeit meiner Ansicht zu erbringen.

Zunächst wurde eine dritte Portion während 24 Stunden trocken auf 110° erhitzt und dann wie die zweite behandelt. Sie enthielt keine Spur von Zucker im Filtrat. Mit der Unwirksamkeit des durch die Hitze veränderten Myrosins war aber auch zugleich die Abtödtung des Protoplasmas im Samenmehl bewirkt worden. Man könnte also wiederum einwenden, es sei nur das Plasma, welches sonst in der Emulsion neuen Zucker erzeugt hätte, durch die Abtödtung daran verhindert worden.

Um schliesslich auch diesem Einwand zu begegnen, wurde ein vierter Versuch angestellt. Es wurde das Samenmehl, nachdem, wie im dritten Versuch, das Myrosin durch Hitze unwirksam und das Plasma getödtet worden war, dem mit Wasser angerührten Mehle

eine Quantität eines aus weissem Senf dargestellten, fast reinen Myrosins, welches für sich die Zuckerreaction nicht zeigte, zugefügt. Nach einiger Zeit liess sich dann Zucker im Filtrat nachweisen.

Diese Versuche beweisen mit aller Schärfe, dass im Samen von Viola ein durch Myrosin spaltbares Glycosid enthalten sein muss. Welcher Art dies Glycosid ist, oder was für Spaltungsproducte ausser Zucker entstehen, ist freilich völlig unbekannt. Jedenfalls sind wir aber berechtigt, anzunehmen, dass immer, wo in der Pflanze Myrosin nachgewiesen ist und ein derselben nicht inquiliner, scharfer Stoff beim Zerreiben auftritt, ein Glycosid vorliegt, welches unter dem Einflusse des Fermentes jenen Stoff liefert. Es wäre daher eine dankenswerthe, rein chemische Aufgabe, diese Glycoside aus den Pflanzen zu isoliren, in der Weise, wie es bis jetzt nur mit den Glycosiden des schwarzen und weissen Senfs und wenigen anderen geschehen ist, und zu prüfen, ob in der That diese so dargestellten Glycoside mit Myrosin die aus der Pflanze gewinnbaren ätherischen Oele als Spaltungsproducte liefern. Folgende Tabelle versteht sich nach diesen Bemerkungen wohl von selbst.

Name	Glycosid	Spaltungsproducte
Alliaria officinalis . .	?	Senföl und Schwefelallyl.
Brassica Rapa . . .	Kaliummyronat	Aether. Senföl.
Camelina sativa . . .	?	Nitril der α-Toluylsäure.
Capsella bursa pastoris .	Kaliummyronat?	Senföl.
Cardamine	Kaliummyronat?	Senföl.
Cheiranthus	?	Senföl?
Cochlearia Armoracia .	Kaliummyronat	Wie Sinapis nigra.
Cochlearia officinalis .	?	Sec. Butylsenföl.
Erysimum u. Iberis . .	?	Senföl?
Lepidium	?	Nitril der α-Toluylsäure.
Nasturtium	?	Nitril der Phenylpropionsäure.
Raphanus Raphanistrum	?	Senföl?
Reseda	Kaliummyronat?	Senföl.
Sinapis alba	Sinalbin	Aether. Senföl, Zucker, Kaliumbisulfat.
Sinapis nigra	Kaliummyronat	Sinalbinsenföl, Zucker, saures schwefelsaures Sinapin.
Sisymbrium	?	Senföl?
Thlaspi	?	Senföl und Schwefelallyl.
Tropaeolum majus . .	?	Nitril der α-Toluylsäure.

Alle diese Stoffe, welche wir vorerst als Spaltungsproducte von Glycosiden aufgefasst wissen möchten, sind ausgezeichnet durch ihre Schärfe, zum Theil auch durch Giftigkeit. Es ist daher klar, dass die Pflanze in ihnen ganz ausgezeichnete Waffen im Kampf um das Dasein besitzt, welche sie gegen die Angriffe sehr vieler Thiere erfolgreich schützen; freilich ist dabei nicht ausgeschlossen, dass andere Thiere diesen Stoffen sich angepasst haben und sie gerade deshalb aufsuchen. Die Ansicht, die ätherischen Oele der Cruciferen als Schutzmittel zu betrachten, spricht Nägeli[1]) folgendermassen aus:

„Die scharfen Stoffe bilden sich in diesen (bei Sinapis nigra) und ähnlichen Fällen, sowie die Samen zermalmt werden und mit Wasser in Berührung kommen und ebenso, wenn sie Wasser aufnehmen und keimen. Sie haben offenbar den Zweck, die Samen und die Keimpflanzen vor den Angriffen der Thiere zu schützen. Ob aber die Abwehr der Feinde der einzige Grund ist, warum gewisse Glycoside und Fermente, welche sie zerlegen, von den Pflanzen erzeugt werden, lässt sich vorerst nicht entscheiden. Es ist wahrscheinlich, dass die Zersetzungsproducte noch andere physiologische Dienste leisten. Der Zucker, der immer dabei auftritt, wird als Nahrung verwendet, und die scharfen, bittern oder giftigen Stoffe dürften ebenfalls eine Function bei dem pflanzlichen Chemismus vollbringen. — Es durfte als fraglich betrachtet werden, ob die in dem Samen enthaltenen Glycoside beim Keimen zerlegt werden. Dieselben bilden sich beim Reifen der Samen, welche zu dieser Zeit noch viel Vegetationswasser enthalten; ich hielt es für möglich, dass sie auch beim Keimen in den unverletzten, lebenden Zellen unverändert bleiben und nur beim Zerreissen des Gewebes durch die Wirkung des Fermentes zerfallen. Versuche haben das Gegentheil ergeben. Aus keimendem Senfsamen kann man in jedem Stadium, wenn man sie ohne mechanische Verletzung mit Weingeist behandelt, Senföl ausziehen, welches in dem Samen vor dem Keimen nicht enthalten ist."

In der That kann man schon durch den Geruch wahrnehmen, dass keimender Senfsamen Senföl exhalirt, wenn man denselben im

---

1) Nägeli, Theorie der Gährung, 1879, S. 13 u. 14. Mit Nachdruck hebt Errera (Compt. rend. d. l. Soc. Roy. d. Bot. d. Belgique, T. 25, II. Thl., S. 91) dieselbe Ansicht hervor.

abgeschlossenen Raume zur Entwickelung bringt. Ich selbst habe versucht, die Menge des während der Keimung producirten Senföls zu bestimmen. Die mit dem exhalirten Senföl erfüllte Luft wurde durch Alkohol geleitet, das in den ergrünten Keimlingen enthaltene Oel mit Alkohol extrahirt, ohne dass vorher die Pflänzchen verletzt wurden. Die im Alkohol enthaltene Menge Senföl erwies sich als ganz minimal im Vergleich zu der aus dem angewandten Quantum Senfsamen überhaupt gewinnbaren Menge. Hieraus geht hervor, dass bei der Keimung keinesfalls alles Glycosid zerlegt wird. Erst wenn die Gewebselemente zerrissen werden, wenn die durch die Lebensthätigkeit des Protoplasmas auseinander gehaltenen Stoffe — Myrosin und Glycoside — aufeinander ungehindert einwirken können, dann erst kann auch sämmtliches ätherische Oel in Freiheit gesetzt werden. Ein Beweis, dass wir Myrosin und Glycoside in der That aufzufassen haben als Schutzwaffen der Pflanze gegen mechanische Eingriffe.

Rückblick.

Die wichtigsten Resultate vorstehender Untersuchung fassen wir kurz in folgende Sätze zusammen:

1. Das Myrosin tritt in den Familien der Cruciferen, Resedaceen, Violaceen und Tropaeolaceen auf, und zwar konnte es bei den ersten beiden im Samen und in den vegetativen Organen, bei den letzten beiden nur im Samen nachgewiesen werden.

2. Die Samen und vegetativen Organe der Cruciferen und der Samen von Tropaeolum führen das Myrosin in besondern, durch mikrochemische Reactionen auffindbaren Zellen, den Myrosinschläuchen. In den vegetativen, oberirdischen Theilen der Resedaceen ist das Myrosin ausschliesslich in den Schliesszellen der Spaltöffnungen enthalten; die Wurzeln enthalten kein Myrosin. In den Samen von Viola und Reseda konnten Myrosinschläuche nicht aufgefunden werden.

3. Die Myrosinschläuche enthalten das Myrosin in den vegetativen Organen stets in gelöster Form, in den Samen wegen der hier bestehenden Wasserarmuth stets in festeren, den Aleuronkörnern an Grösse ziemlich gleichen, aber nie mit ihnen in einer Zelle zusammen vorkommenden, einschlussfreien, homogenen Körnchen, den

Myrosinkörnern, aus welchen bei der Keimung durch einfache Wasseraufnahme wiederum die gelöste Form hervorgeht.

4. Das Myrosin ist ein Product des Protoplasmas. Die myrosinbildenden Zellen führen einen Zellkern, und ihr Protoplasma erzeugt in Vacuolen das als eine dickere oder dünnere Lösung in Wasser auftretende Myrosin.

5. Die Bildung des Myrosins in der Pflanze geht unabhängig vom Lichte vor sich; sie kann durch das Fehlen eines oder des anderen organischen Elementes im Boden nicht unterdrückt werden, vielmehr scheidet die Pflanze, solange sie überhaupt lebt und neues organisches Material bildet, auch stets neues Myrosin ab. In ihrer Entwickelung gehemmte und dadurch verzwergte Pflanzen produciren verhältnissmässig mehr Myrosin als die normalen.

6. Das Myrosin functionslos werdender Organe wird bisweilen nicht, oft zum Theil, nie aber völlig von der weiterlebenden Pflanze resorbirt, so dass wir dem Myrosin eine Mittelstellung zwischen den Secreten im stricten Sinne und den Reservestoffen einräumen müssen.

7. Functionell kommt dem Myrosin zweifellos die Aufgabe zu, Glycoside zu spalten. Welche Glycoside es aber ausser Kaliummyronat und Sinalbin noch sind, die es zu spalten vermag, in welcher Weise die Spaltung vor sich geht, d. h. welche Spaltungsproducte auftreten, ob diese Spaltungsproducte neben der einen Aufgabe, als Schutzwaffen gegen äussere Angriffe zu dienen, noch eine andere Rolle im Leben der Pflanze spielen; das Alles ist noch so gut wie unbekannt. Ob das Myrosin neben der einen Function, Glycoside zu spalten, noch andere Verrichtungen erfüllt, etwa in gewisser Weise die Eiweissstoffe vertritt, ist ebenso unenträthselt wie seine Bildung selbst.

Vorliegende Arbeit wurde von mir auf Veranlassung von Herrn Professor Dr. A. B. Frank im pflanzenphysiologischen Institut der königlichen landwirthschaftlichen Hochschule zu Berlin ausgeführt.

Ich spreche meinem hochverehrten Lehrer ehrerbietigst meinen Dank aus für die freundliche Bereitwilligkeit, mit der er jeder Zeit mich bei der Ausführung der Arbeit mit Rath und That unterstützt hat.

Erklärung der Abbildungen.

Tafel III.

Fig. 1. Längsschnitt aus dem Rhizom von Cochlearia Armoracia. Der Schnitt ist durch Zuckerlösung plasmolysirt und nachher mit Jodjodkalium behandelt worden. Der Inhalt des Myrosinschlauches hat sich goldgelb tingirt. Die im Protoplasma eingelagerte Stärke ist blau gefärbt worden. Der Myrosinschlauch weist nur sehr kleinkörnige Stärke auf. Einzelne Stärkekörner haben sich aus dem Protoplasma herausgelöst und schwimmen isolirt im Zellsaft herum.

Fig. 2. Lupenbild eines Querschnitts durch den Samen von Isatis tinctoria nach Behandlung mit Millon's Reagens. Das Parenchym hat sich gelb gefärbt, die Myrosinschläuche treten deutlich durch ihre intensive rothe Färbung hervor.

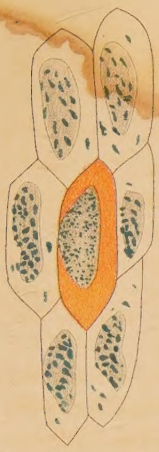
Fig. 3. Ein einzelner Myrosinschlauch von Isatis tinctoria bei starker Vergrösserung in Oel untersucht. Die Myrosinkörner zeichnen sich durch ihre helle Färbung aus.

Fig. 4. Ein in gleicher Weise präparirter Längsschnitt durch die Kotyledonen von Camelina sativa. Hier treten die Myrosinschläuche nur als einseitig den Procambiumsträngen angelagerte, reichlich mit Myrosinkörnern erfüllte Zellen auf. Die einschlussfreien Myrosinkörner unterscheiden sich deutlich von den mit zahlreichen Globoïden erfüllten Aleuronkörnern.

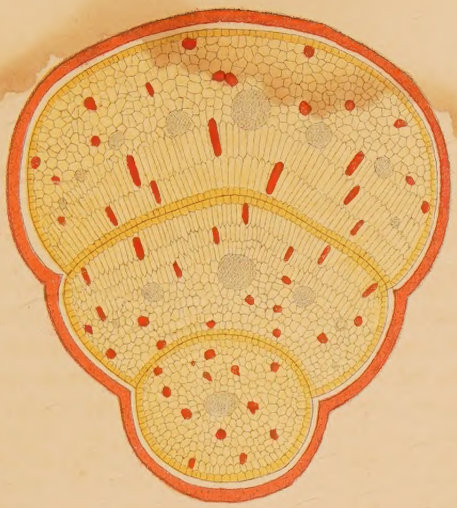
Fig. 5 und 6. Myrosinschläuche aus dem Samen von Alliaria officinalis und Crambe maritima. Beide durch besonders schöne, grosse Myrosinkörner ausgezeichnet.

Fig. 7. Ein Myrosinschlauch im Samen von Tropaeolum majus mit zahlreichen kleinen, von den Aleuronkörnern äusserlich wenig verschiedenen Myrosinkörnern erfüllt.

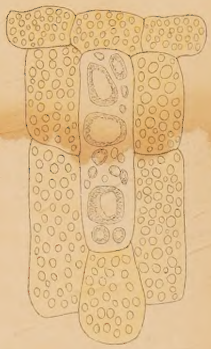
Fig. 8. Schnitt aus dem Samen von Sinapis alba. Der Schnitt hat 24 Stunden in Sublimatalkohol gelegen, ist dann in Wasser gebracht worden, wodurch sich nur die nicht gehärteten Myrosinkörner aus dem sie einhüllenden Protoplasma herauslösen und schliesslich mit Fuchsin tingirt worden. Die Aleuronkörner haben stark den Farbstoff aufgespeichert. Im Myrosinschlauch hat sich das Protoplasma, das durch die herausgewachsenen Myrosinkörner eine schwammige Structur angenommen hat, wenig, der spindelförmige, langgezogene Kern stark tingirt.



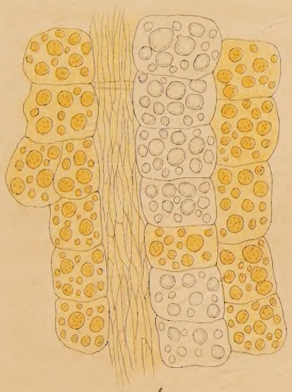
1.



2.



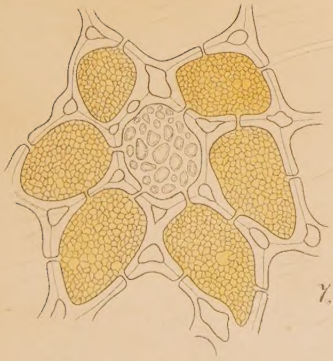
3.



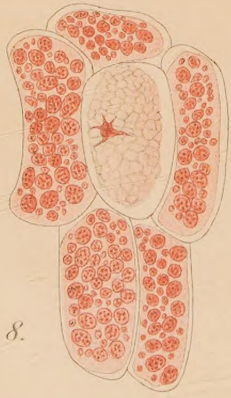
4.

5.

6.



7.



8.